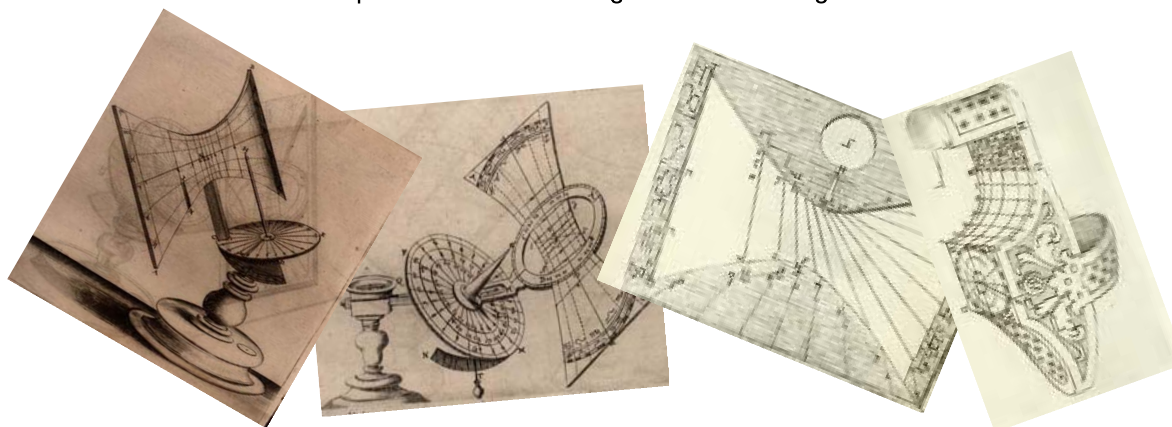
Nicola Severino

presenta

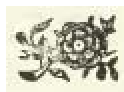
LA GNOMONICA DI MARIO BETTINI

Una prima analisi della gnomonica del gesuita



Abstract
An initial analysis of sundials published by the Jesuit Father Mario Bettini from Bologna. Nicola Severino has accidentally discovered the existence of extensive chapters devoted to experimental studies on sundials by Mario Bettini. These chapters are included in two books and a main charge. In all they form a book a hundred and fifty pages on sundials, a real treat. Bettini, however, does not write a treatise on the rules of the gnomonics, but on some of his studies and experiments that can be considered innovative. They discover that he was the first to write about asymptotes, on how to find the geometric hour lines on the equator, then a popular way to find the lines of Italian Hours, how to read the hours on the faces of a quadrant without style, invention sandalwood universal and also gives us a beautiful testimony to the difference between the hours of the ancients and the planetary hours. Finally, describes a unknown machine invented by father Grienberger to build sundials and exposes his invention called the harp hourly to make sundials on the walls. A book full of historical information and interesting studies gnomonic who come here for the first time disclosed.

Roccasecca (FR), Italy, November 2009 **www.nicolaseverino.it**



Breve nota biografica

Prima di parlare degli aspetti, ancora oggi mai divulgati, della gnomonica che ci ha lasciato il padre Mario Bettini, è doveroso cercare di mettere insieme una breve nota biografica, sebbene le notizie siano davvero tanto scarse quasi da farci rinunciare nell'intento. Tuttavia, quel poco che ci è dato sapere sulla vita e le opere di questo personaggio, lo rimettiamo ai nostri lettori i quali desiderano avere un quadro generale informativo il più completo possibile.

Nonostante il periodo in cui egli visse, il XVII secolo, si ha qualche incongruenza documentale sulla data e il luogo di nascita. Mentre la Wikipedia.it riporta il 1584, Filippo Camerota, Zanlonghi Giovanni, Luigi Vagnetti, Kirtsi Andersen, diversi dizionari biografici ed enciclopedie, lo fanno nascere il 6 febbraio del 1582, data che sembra essere la più plausibile, ma in perfetta incongruenza con quella, del 1578, riportata da Clemente Nelli nella "*Vita e commercio letterario di Galilei…*". Sulla data della sua dipartita invece sembrano essere tutti concordi con quella del 1657, eccetto alcuni documenti inglesi che riportano la data del 1537 dove è evidente che il 5 è stato erroneamente sostituito e stampato con il 3 e il 6 con il 5; purtroppo, tale errore è stato rinnovato poi da tutti gli altri "copisti" che hanno riportato lo stesso passo inglese in molti altri dizionari. Essendo scrittore e scienziato bolognese, probabilmente nacque in Bologna dove anche morì all'età di 79 anni.

Di lui sappiamo davvero molto poco. Entrò nella Compagnia dei Gesuiti nel 1595, all'età di 17 anni. Qui egli ebbe certamente modo di conoscere il padre Cristoforo Clavio e studiare le sue opere matematiche e gnomoniche concludendo, a 22 anni, l'ultimo quinquennio del rinascimento che sarà stato per lui molto formativo. Insegnò morale, politica, filosofia e matematica nel collegio di Parma e ai suoi studi scientifici avvicinò anche alcune sue opere letterarie. Nel 1614, a Parma, venne stampata la sua prima composizione letteraria "*Rubenus hilarotragoedia satyra pastoralis*" che fu ristampata più volte in Italia e commentata anche da Denis Ronsfert. Poi seguì nel 1622 "*Clodoveus, sive Lodovicus tragicum silviludium*", "*Lycaeum morale, politicum, et poeticum*", pubblicata a Venezia nel 1626, divisa in due parti, la prima in prosa, la seconda in versi intitolata "*Urbanitates poeticae*", una collezione di poesie liriche che venne poi ristampata nello stesso anno con il titolo "*Eutrapeliarum, seu Urbanitatum Libri IV*". La nona edizione di quest'opera fu ristampata a Lione nel 1633 con l'aggiunta di due drammi, e col titolo "*Florilegium variorum poematum et dramatum Pastoralium Libri IV*". Quindi si ebbero le pubblicazioni scientifiche per le quali ha meritato la fama fino ai giorni nostri. La prima è "*Apiaria universae philosophiae, Mathematicae…*", in tre volumi, che vide per la prima volta la luce in Bologna nel 1641 cui seguirono altre edizioni. Alla fine dell'opera si trova una spiegazione di Euclide intitolata "*Euclides applicatus*", la quale fu poi stampata separatamente sempre in Bologna nel 1642 e 1645. Seguì l'altra poderosa opera "*Aerarium philosophiae mathematicae*", Bologna 1647 e 1648, poi l'*Apiariorum philosophiae mathematicae tomus tertius : complectens fucaria et auctaria militaria, stereometrica, conica et nouas alias iucundas praxes ac theorias in omni mathematicarum scientiarum genere : accessit Appendix huius tertii tomi pars praecipua : in qua sunt defensiones contra oppositiones noualmagesti*, nel 1654 quale terzo volume dell'Apiaria, ovvero un "supplemento", e le "*Recreationum Mathematicarum Apiaria XII. Novissima*" nel 1660 che è una ristampa del terzo volume dell'Apiaria.

Mario Bettini è un autore citato e lodato da Cristoforo Griemberger, da Athanasius Kircher nell'*Ars Magnesia*, da Gaspar Schott nella *Mechanica hydraulico-pneumatica*, dove descrive una macchina orologica idraulica inventata da Bettini; viene ancora citato da Schott nella *Magia Universalis*. Lodato ancora da Marino Mersenne nella *Cogitata physico-mathematica,* da Giovanni Battista Riccioli in *Geographicae crucis fabrica et usus*, 1643, in relazione allo strumento per convertire i tre sistemi orari principali (citando anche forse per la prima volta le ore italiche da campanile – vedi nota alla fine di questo articolo) e da tanti altri autori antichi e moderni, specie per il suo fondamentale contributo alla prospettiva e all'anamorfosi. Noto anche il "prospettografo di Bettini", costruito poi dal Grienberger, rivelatosi particolarmente utile a svolgere funzioni topografiche.

La Gnomonica di Mario Bettini

Scrive Filippo Camerota[1]: "*L'opera del gesuita Mario Bettini rientra nell'ampia ricerca parascientifica che caratterizza la produzione editoriale dei Gesuiti nel XVII secolo. I temi trattati abbracciano ogni aspetto delle scienze matematiche e delle loro applicazioni privilegiando i casi curiosi in cui il rigore scientifico si fonde con il gusto per l'effetto magico e meraviglioso*".

Niente di più vero, anche dal punto di vista gnomonico, se si pensa all'*Ars Magna Lucis et Umbrae* di Athanasius Kircher, forse il caso più emblematico di questo sincretismo scientifico che animava gli spiriti dei Gesuiti in quel tempo. La "lanterna magica", gli orologi pneumatico-idraulici, la riflessione, i giochi di prospettiva architettonica, l'utilizzo di ogni genere di espediente nell'arte di stupire e meravigliare gli uomini, con la creazione di macchine che fossero al tempo stesso scientificamente valide e utili nelle applicazioni pratiche della vita quotidiana. Il decimo libro dell'*Ars Magna Lucis et Umbrae* (1646) è pieno di queste invenzioni, sebbene molte di esse siano da prendere con buona licenza poetico-artistica. Gli orologi a riflessione, l'utilizzo di lumi e lanterne per la proiezione di quadranti notturni, gli orologi solari realizzati a forma di uovo di gallina, coppe e vasche da giardino che indicano l'ora sia con l'ombra solare che con lo scoppio di mortaretti, sono tutti elementi che confermano pienamente quanto scrive Camerota.

Ma non tutta la produzione scientifica dei gesuiti si basa su questi presupposti "parascientifici". Cristoforo Clavio è l'esempio del più assoluto rigore matematico-scientifico non solo nella gnomonica, ma in tutta la matematica e le scienze di cui si occupò. Gaspar Schott, allievo e seguace di Kircher, affiancò ad opere dal carattere "parascientifico" anche scritti di esclusiva rigorosità matematica, come il *Cursus Mathematicus* in cui è compreso un intero trattato di gnomonica che può essere considerato un caposaldo della letteratura sugli orologi solari. Lo stesso si può dire di altri Gesuiti famosi che hanno dato grandi contributi alla gnomonica e alla letteratura rigorosamente scientifica. Ricordiamo Guidobaldo Del Monte, Alessandro Piccolomini, Cristoforo Scheiner, Ignazio Gaston Pardies che sviluppò e rese famoso il "trigono" gnomonico detto appunto di Pardies; Giuseppe Biancani, Jean Bonfa per arrivare sino a Leonardo Ximenes e tra gli ultimi grandi l'astrofisico, gnomonista padre Angelo Secchi. Una tradizione scientifica secolare tra le più importanti che ci ha lasciato capisaldi della disciplina gnomonica da entrambi i punti di vista: quello della rigorosità scientifica e quello della "curiosità" dell'invenzione, legata all'estro artistico e alle credenze popolari del tempo, fondendo appunto il "magico con il meraviglioso".

Mario Bettini lo scopriamo oggi, non dal punto di vista del suo contributo alla prospettiva architettonica, riconosciutogli ormai da tempo, ma per il suo ampio lavoro a carattere innovativo sulla gnomonica, fino ad oggi totalmente trascurato, che egli diligentemente concepì proprio con lo spirito di scrivere non tanto un trattato matematicamente rigoroso, come fece il Clavio, ma di offrire al lettore e all'estro degli artisti artigiani, la possibilità di mettere in pratica quelle "recreations" che da allora e per oltre un secolo ebbero un considerevole successo nell'editoria scientifica. Ritroviamo così il seguito ed il miglioramento del "sandalo gnomonico", idea certamente presa a prestito dal grande Oddi Muzio che lo pubblicò per la prima volta nel 1638; strumenti e macchine gnomoniche per costruire orologi solari che anticipano gli esperimenti di Kircher pubblicati nel 1644[2]; orologi e quadranti illustrati in splendide tavole che tra poco apprezzeremo nella loro piena bellezza.

L'opera gnomonica di Bettini si può suddividere in due parti: la prima costituita dall'intero IX libro dell'Apiaria di 89 pagine, ma in realtà il "progymnasma" quinto dell'VIII libro anche è dedicato ad argomenti affini alla gnomonica: "*Paradoxa circa ortus, occasus, gyrationes, etc. caelestium luminarium: circa umbras gnomonicas, etc. De Aurora perpetua, etc.*"; la seconda

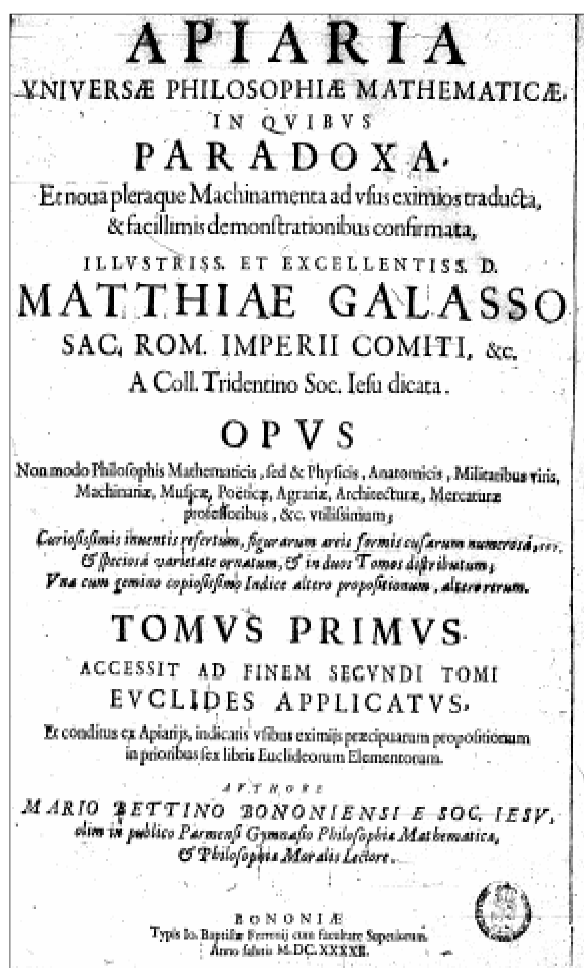
---

[1] F. Camerota, *Nel segno di Masaccio: l'invenzione della prospettiva*.

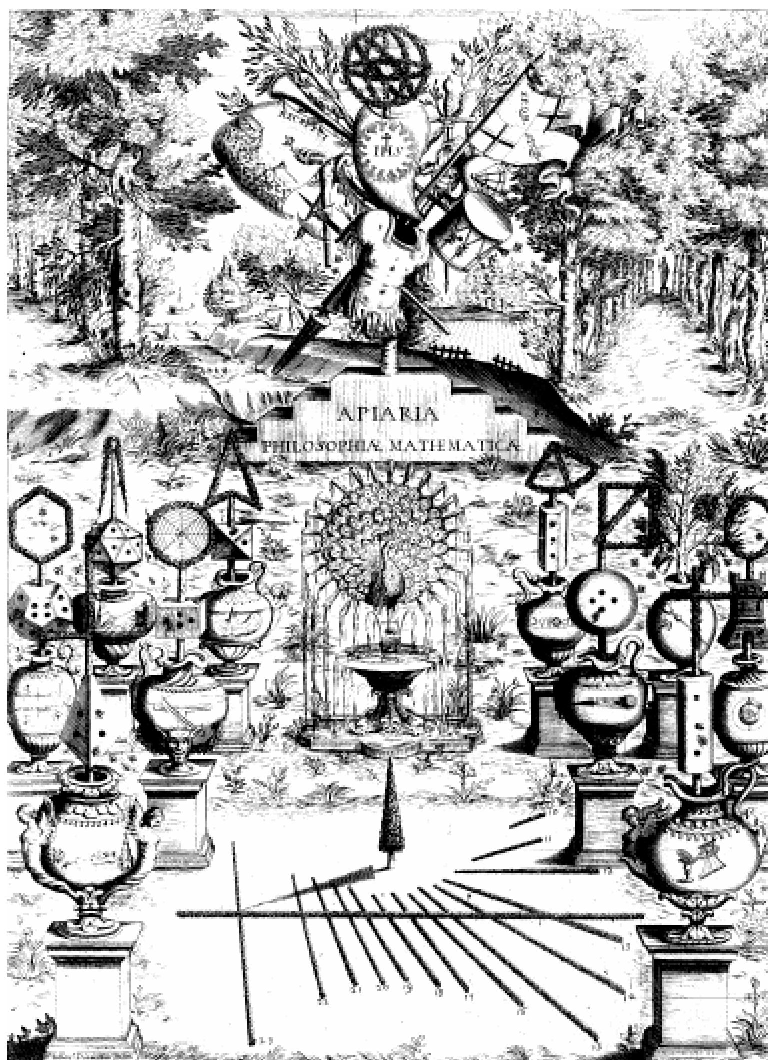
[2] Questo fermento gnomonico, praticamente svolto parallelamente a Kircher negli stessi anni (si ricorda che Kircher aveva realizzato le "Tavole Sciateriche" con gli allievi del Collegio Romano nel 1636 il che testimonia un'attività molto forte nella gnomonica in tutto l'ambiente accademico dei Gesuiti) dimostra come questi autori fossero in simbiosi gli uni con gli altri e si scambiassero corrispondenza sugli esperimenti realizzati forse indipendentemente, ma sulla base delle stesse dottrine e soprattutto nel comune spirito di realizzare "macchine meravigliose" che fossero in grado di stupire principi e uomini importanti del loro tempo.

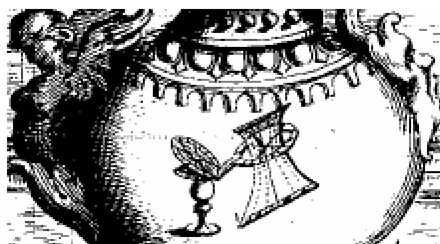
costituita dall'ultima parte dell'"*Aerarium Philosophiae Mathematicae*" di circa 50 pagine per un totale di circa 150 pagine che insieme formano un vero e proprio trattato di gnomonica.

Qui sotto, si vedono i frontespizi dell'Apiarum nell'edizione del 1642 che esamineremo nel corso di questo scritto. L'opera è dedicata a Mattia Galasso tridentino dei signori di Castro Campo, nato a Trento nel 1558 e famoso capo dell'esercito di Ferdinando II. Ovviamente Non è possibile in questa sede esaminare ed analizzare nei dettagli ogni singolo strumento descritto da Bettini per cui sarebbe necessario un minuzioso lavoro di trascrizione, traduzione e interpretazione del testo latino che rende le cose molto più complicate. Qui ci basterà divulgare il contenuto dell'opera del padre gesuita, sulla base di quanto sarà possibile comprendere dalle figure e da traduzioni di brevi parti di testo. Un lavoro simile è stato fatto già da chi scrive nel 1994, oltre che con molti altri autori del passato, specialmente con l'opera gigantesca di *Athanasius Kircher, Ars Magna Lucis et Umbrae* per la quale, però ad oggi non è stato ancora fatto uno studio analitico di tutti gli strumenti gnomonici descritti.



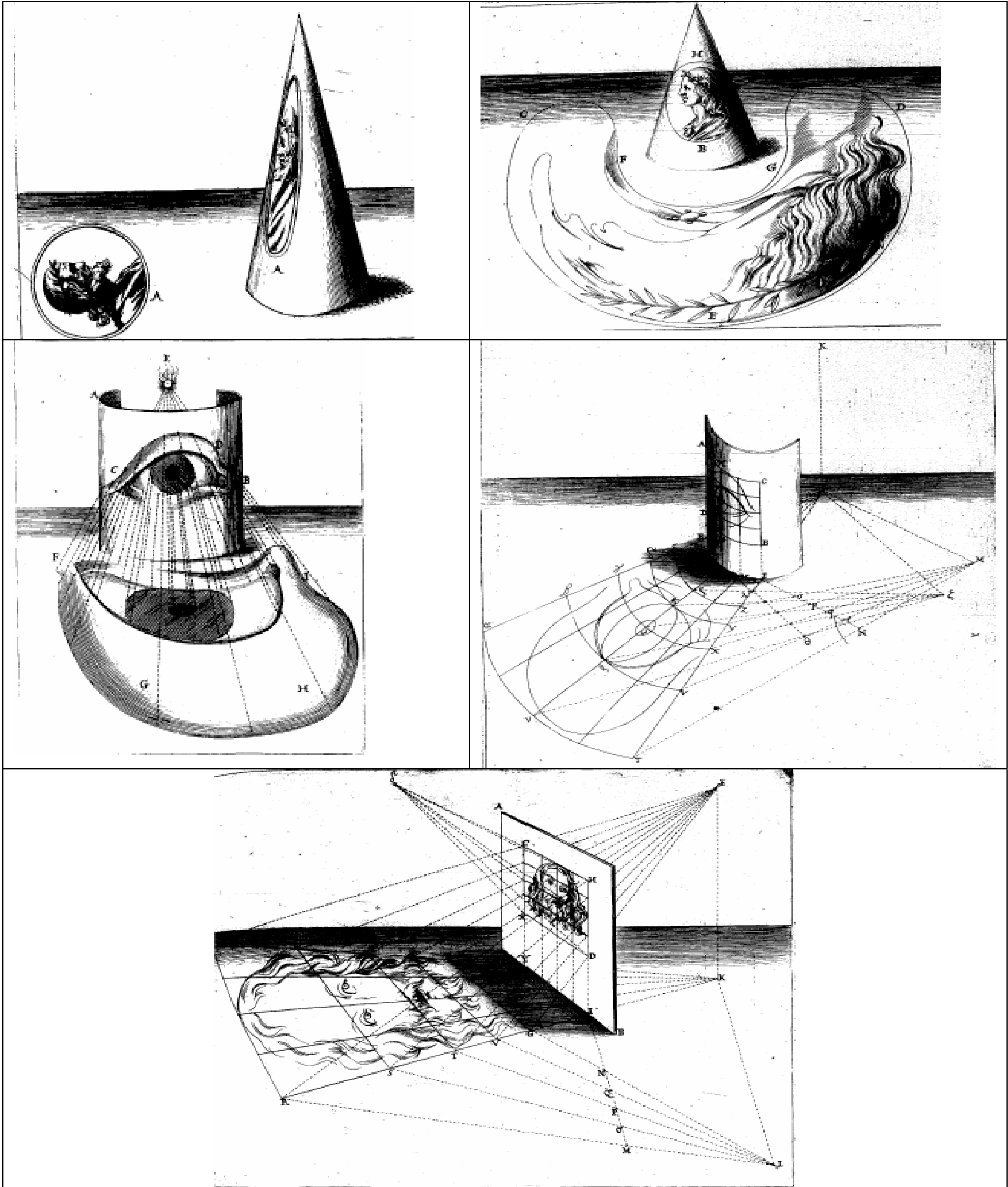
APIARIA
VNIVERSÆ PHILOSOPHIÆ MATHEMATICÆ.
IN QVIBVS
PARADOXA.
Et noua pleraque Machinamenta ad vsus eximios traducta, & facillimis demonstrationibus confirmata,
ILLVSTRISS. ET EXCELLENTISS. D.
MATTHIAE GALASSO
SAC. ROM. IMPERII COMITI, &c.
A Coll. Tridentino Soc. Iesu dicata.
OPVS
Non modo Philosophis Mathematicis, sed & Physicis, Anatomicis, Militaribus viris, Machinariæ, Musicæ, Poëticæ, Agrariæ, Architecturæ, Mercaturæ professoribus, &c. vtilissimum;
Curiosissimis inuentis refertum, figurarum aeris formis cusarum numerosâ, &c. & speciosâ varietate ornatum, & in duos Tomos distributum;
Vna cum gemino copiosissimo Indice altero propositionum, altero rerum.
TOMVS PRIMVS.
ACCESSIT AD FINEM SECVNDI TOMI
EVCLIDES APPLICATVS.
Et conditus ex Apiarijs, indicatis vsibus eximijs præcipuarum propositionum in prioribus sex libris Euclideorum Elementorum.
AVTHORE
MARIO BETTINO BONONIENSI E SOC. IESV, olim in publico Parmensi Gymnasio Philosophiæ Mathematicæ, & Philosophiæ Moralis Lectore.
BONONIÆ
Typis Io. Baptistæ Ferronij cum facultate Superiorum.
Anno salutis M.DC.XXXXII.

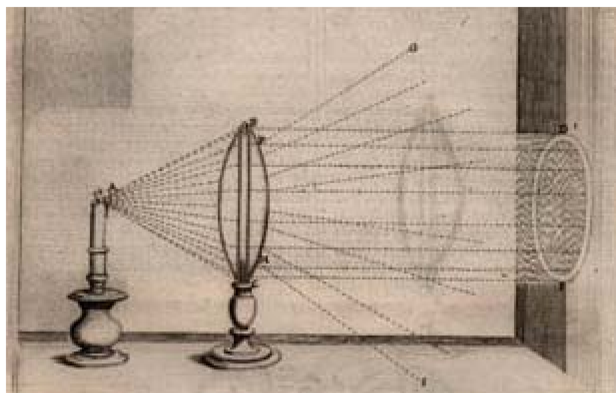




Nel frontespizio di destra si vede ben rappresentato un orologio solare orizzontale ad ore Italiche le cui linee orarie seguono nelle estremità di ciascuna di esse l'andamento delle curve di declinazione dei solstizi, attraversate dalla retta degli equinozi. Per gnomone-ortostilo c'è un albero simile ad un pino potato a forma di cono. Mentre sul vaso in basso a destra (ingrandito qui a sinistra) è rappresentato uno degli strumenti gnomonici ideati da Bettini.

L'Apiaria, già apprezzata e lodata nel suo progetto e manoscritto dal padre Christophorus Griembergerus in una lettera scritta a Bettini il 17 gennaio del 1635, è un libro che si ispira al naturale e geometrico lavoro delle api, già ricordate da Macrobio nel primo libro dei Saturnalia. Nella sua filosofia ispirata al nobile lavoro di questi insetti Bettini spazia dall'aritmetica alla musica, dalla geometria alle macchine meccaniche, dall'ottica all'astronomia ed alla gnomonica. Qui sotto si possono vedere alcune tra le più famose illustrazioni relative agli studi delle deformazioni (anamorfosi) delle immagini se proiettate attraverso diverse superficie di solidi, come ellissi o cilindriche.





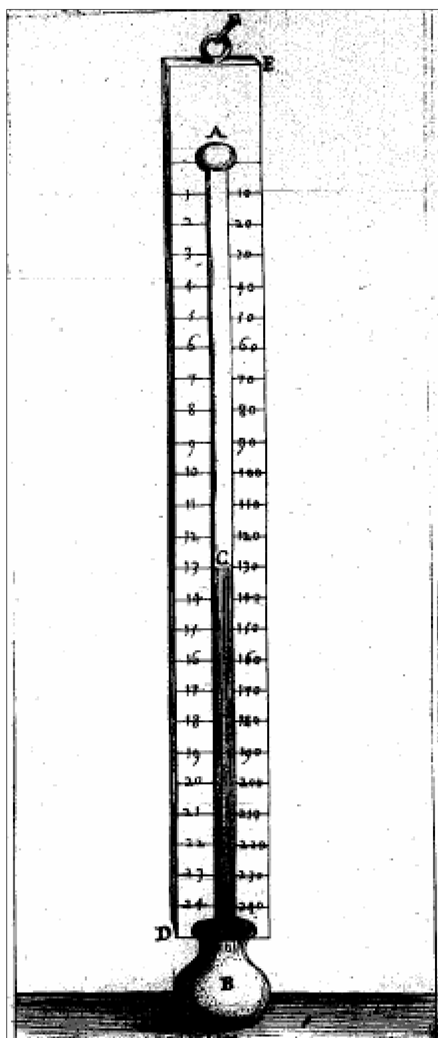
Un'altra curiosità dell'Apiarum VI dedicato all'ottica e alla diottrica, è il modo d'illuminazione notturna di un orologio da torre. Questa pratica fu descritta per la prima volta in tempi recenti da Morpurgo nella rivista "*La Clessidra*" dell'aprile del 1978 e ripresa da Federico Arborio Mella nel volumetto "*La misura del tempo nel tempo*" a pag. 99. Si tratta di un tentativo, da parte di Bettini, di utilizzare una lente convessa gigante per amplificare la debole luce di una candela. L'idea è rafforzata nell'*Ars Magna Lucis et Umbrae di Athanasius Kircher*, dove di esperimenti simili l'erudito gesuita ne offre una quantità insuperabile. Un ipotetico quadrante di un orologio da torre, si potrebbe rendere visibile di notte grazie all'illuminazione prodotta dai fasci di luce di una semplice candela amplificati dalla lente biconvessa; ma, come viene fatto notare anche dal Mella, il metodo doveva rivelarsi di difficile applicazione e soprattutto di scarso successo. La candela si consumava "*e quindi il fascio di luce si innalzava fino ad uscire dal quadrante dell'orologio…inoltre una misera fiammella di candela non era in grado di illuminare in modo adeguato, sia pure con l'ausilio di una lente, un quadrante disposto a parecchi metri di distanza dalla sorgente di luce. Ancora, la candela all'aperto era soggetta al vento ed alla pioggia*". Nella figura sotto si vede l'esperimento come immaginato dal Bettini.

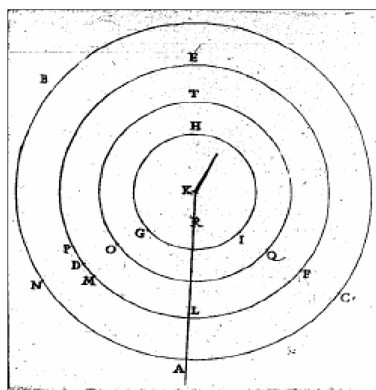


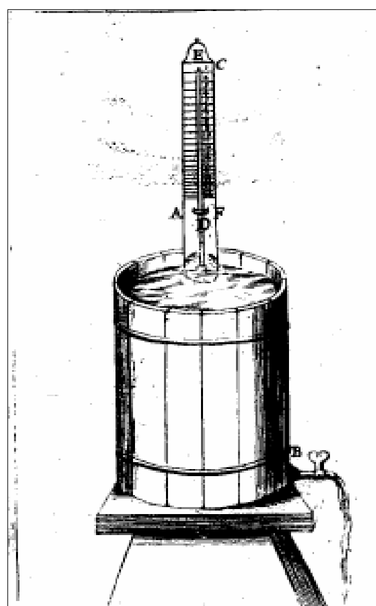
Mathematica non fabrilis officina,
sed Philosophica schola est.

Sorvolando sulle tante meraviglie contenute nei 12 libri dell'Apiaria, arriviamo direttamente al libro IX dedicato alla gnomonica.
In realtà Bettini nell'ottavo libro che dedica a problematiche relative all'astronomia, inizia già a parlare di argomenti correlati anche alla gnomonica e all'orologeria meccanica. Egli si dilunga molto sulla rifrazione solare e riporta molte cose sicuramente interessanti e di grande attualità da approfondire. A pagina 4 di questo libro spiega come trovare l'ombra rifratta da uno gnomone verticale in una tazza a forma di vaso emisferico, ricollegandosi alle tabelle per la rifrazione di Ahlazen e Vitellione e ricordando che questo è un problema tanto astronomico quanto gnomonico, se si considera che all'interno di detti vasi (che egli denomina "*scaphium hemisphaericum*") possono essere realizzati orologi solari a rifrazione. Non parla di come tracciare le linee orarie, ma solo riporta gli angoli di rifrazione con una tavola delle rifrazioni del Sole, delle stelle fisse e della Luna. In seguito prende in esame il metodo detto "delle altezze corrispondenti" che dice essere antico e risalente almeno a Vitruvio, per trovare il vero luogo della linea meridiana, correggendo le osservazioni dalla rifrazione del sole (vedi fig.

sotto). Come strumento ausiliario inventa il "termoscopio" che dovrebbe indicare la rifrazione dalla sola stima della densità dell'aria (immagine a sinistra).







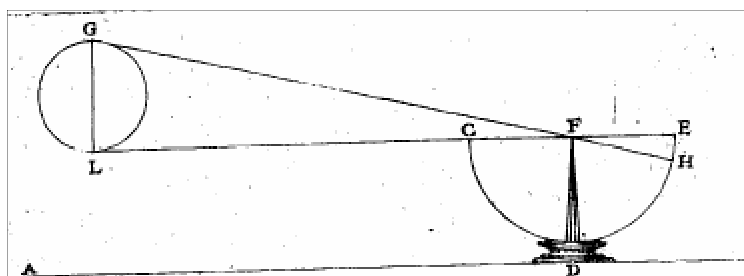
Come anche l'"Hydro-logium", una macchina oraria che assembla i concetti degli orologi idraulico-pneumatici di Vitruvio, Giovan Battista Porta e Oronzio Fineo, migliorata nell'utilizzo e nella semplicità di costru-zione.

Da tutti questi appro-fondimenti relativi alle applicazioni dei modi per trovare la rifrazione solare, scaturisce infine anche un "paradosso gnomonico":

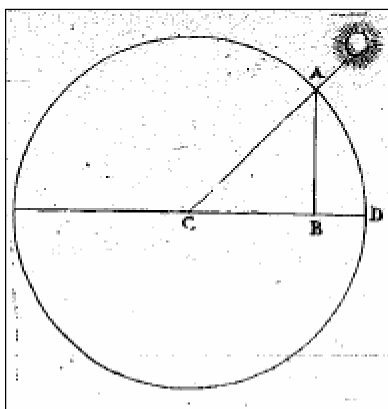
Horas compendioso opere venari ex quadrante, in quo nulla horaria sint lineae.

"*E' lavoro difficile andare a caccia delle ore in un quadrante, nel quale non vi siano linee orarie.*"

Interessante anche tutta la parte storica dedicata all'osservazione della rifrazione dei raggi solari nello "scaphium", di cui fa una lunga citazione di Macrobio dal Lib. I del Somn. Scip. Cap. 20.

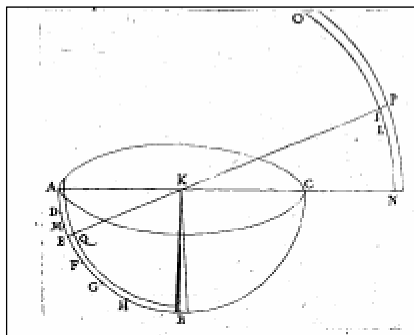


Nella proposizione IX, Bettini affronta un argomento di grande attualità gnomonica. L'influenza della rifrazione solare nell'osservazione dell'ombra di uno gnomone riferita al lembo esterno del sole. Egli dimostra geometricamente che l'ombra **CB** (figura sotto) quando il primo lembo del sole (a 45°) arriva in **A**, è più lunga, mentre l'opinione comune dice che con il sole a 45° d'altezza determina un'ombra di lunghezza pari all'altezza dello gnomone verticale **AB**. Nelle sue parole:



"E' infatti un triangolo isoscele tra lo gnomone AB, l'ombra BC, il raggio CA- Infatti B è retto, e C semiretto insiste infatti sul semiquadrante AD di gradi 45, per cui A è semiretto ed i lati AB e BC che sottengono angoli uguali sono uguali. Quando il Sole è sotto A, per cui C insiste su un arco che è minore di un semiquadrante, quindi è minore di un semiretto, di conseguenza A è maggiore per cui anche maggiore è l'ombra CB rispetto allo gnomone AB. Al contrario, quando il Sole è più alto che in A, etc.

Di questo argomento se ne è discusso a lungo in tempi recenti anche sulla lista internet della community “Gnomonica Italiana”, a proposito di approfondimenti vari dedicati all’influenza della rifrazione solare nell’osservazione delle ombre di uno gnomone. Anche da ciò si deduce quanto sia attuale il Bettini.



Nella figura a sinistra si vede ancora lo “*scaphium hemispaerium excavatum*”, con lo gnomone verticale al centro il cui vertice proietta l’ombra in **B** con il sole in **P**. Bettini continua qui ad affrontare le problematiche della rifrazione solare e le conseguenze che queste determinano nell’osservazione dell’ombra nella costruzione degli orologi solari. Qui descrive come a causa della rifrazione il sole viene a trovarsi dal punto **P** visuale al suo vero luogo in **L**, poco sotto, e di conseguenza l’ombra prodotta dal vertice dello gnomone verticale non è più in **M** ma in **E**, poco sopra. Da ciò ne consegue la “*fallacias ab umbris gnomonum in usu siotericorum horariorum…*”.

Infne, Bettini propone il seguente “paradosso gnomonico”:

E' lavoro difficile andare a caccia delle ore in un quadrante, nel quale non vi siano linee orarie.

Completate le tavole delle altitudini del Sole per l'ora che si vuole, è cosa buona trasferire le ore su un quadrante orario e tracciarle per i punti segnati su di esso o quelle parti periferiche, i cui centri sono lontanissimi fuori dal quadrante, o disegnare con linee diverse miste se i punti delle ore non sono facili da congiungere.
Se terminate le tavole ti vuoi liberare di questa seconda fatica, e della noia di trasferire i calcoli sui punti del quadrante, e le linee orarie, c'è un modo, che segue dalla proposizione precedente.
Per l'appunto, si prenda in un dato momento l'altitudine del sole sopra l'orizzonte, poi si consultino le tavole in quel grado di elevazione in cui appare il sole; da questo si trovi l'ora che cerchi, soprattutto se le tavole sono precise e intorno ai singoli paralleli del Sole.
E se è lecito che l'altitudine del sole rilevata con il quadrante non sia quella vera, ma apparente per la rifrazione, tuttavia nelle tavole farà poca differenza sensibile con l'ora vera. Infatti, qui abbiamo cercato un'operazione non precisa in senso geometrico, ma con un metodo comune ad altri.[3]

APIARVM IX

E finalmente arriviamo alla parte specifica gnomonica, l’Apiarum IX il cui titolo è tutto un programma:

PROGYMNASMA
PRIMVM.
De vniuersæ Gnomonices, ac horariorum vniuersalium in vno facillimà constructione per vnicam circini diductionem demonstratam. De hyperbolarum solarium descriptionibus cum organicis per fila, tum geometricis è conicis. &c.

Dal titolo si capisce subito l’intento del padre di scrivere un piccolo trattato di gnomonica che non sia il solito libretto di regole canoniche, ma un qualcosa di nuovo da offrire al lettore.

[3] Ringrazio la dott.ssa Ing. Marisa Addomine per la collaborazione.

Qualcosa di relativamente nuovo, visto che l'idea di proiettare sui piani i circoli orari attraverso fili e circoli di materia solida non è certo un'idea del nostro autore, ma addirittura di qualche gnomonista della seconda metà del XVI secolo. Già Cristoforo Clavio ne aveva parlato tirando in ballo lo sconosciuto Giovanni Ferrero Spagnolo, quale inventore dello strumento che egli descrive in un suo libretto specifico da cui poi viene sviluppato il "Trigono di Pardies" ed una infinità di strumenti gnomonici, a cominciare da Sandolino Cherubino, arrivando poi ad Athanasius Kircher, Emanuele Maignan e Giulio Capilupi, tanto per citarne qualcuno, atti alla costruzione pratica degli orologi solari su qualsiasi superficie.

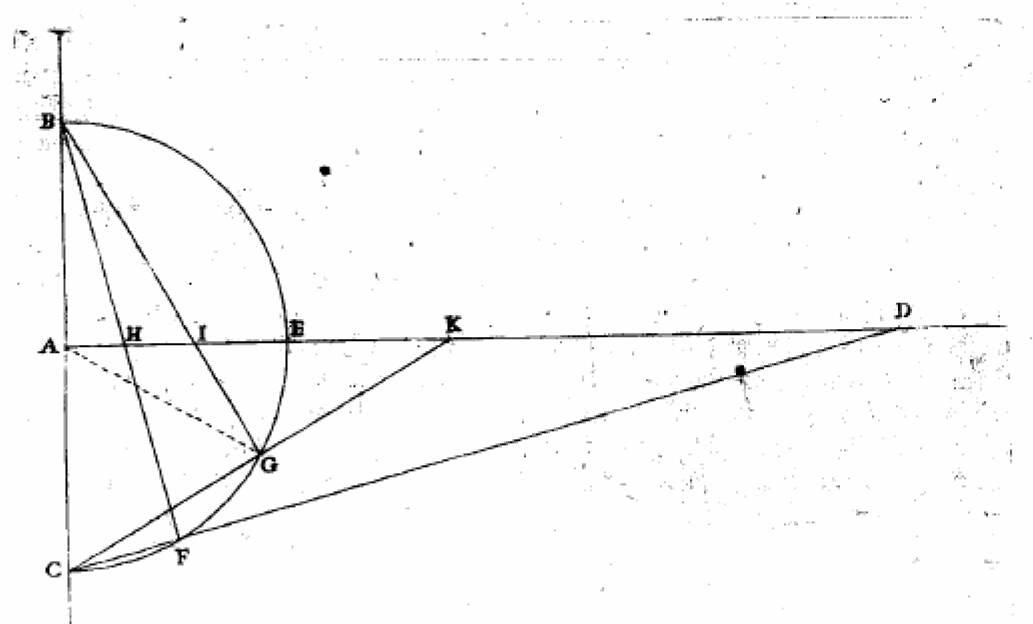
Bettini non è certamente da meno, d'altra parte con simili maestri…Nel XVII secolo infatti si consolida questa antica tradizione di inventare strumenti per costruire orologi solari. Ma essa più che una tradizione era una necessità. A nessuno piaceva fare complicate operazioni geometriche o trascorrere intere settimane a riempire pagine di calcoli per trovare i punti orari dei diversi sistemi orari in uso, delle curve di declinazione e di altri elementi che costituiscono un orologio solare. Tanto meno ad artigiani che venivano incaricati di fare questo o quell'orologio solare portatile, a forma di cubo, da giardino o su un muro. La proiezione diretta dei circoli della sfera celeste sui piani ove si voleva costruire l'orologio solare, quali muri, piani di superfici qualsiasi, ecc., sembrava quindi la strada più semplice e diretta. Da qui la necessità di costruire strumenti simili a sfere armillari che una volta posizionati correttamente, secondo i parametri astronomico-gnomonici del luogo (principalmente l'inclinazione dello strumento secondo la latitudine del luogo e la sua messa in stazione fissa), dal suo centro (centro della sfera celeste) si prolungavano dei fili che permettevano la proiezione materiale di detti circoli della sfera celeste (quindi circoli orari, paralleli di declinazione solare, ecc.) su qualsiasi piano si volesse costruire l'orologio solare. Ciò permetteva di realizzare la propria opera in pochissimo tempo e con una precisione sufficiente rispetto a complicate o impossibili operazioni geometriche da farsi con squadre e compasso, almeno fino ai tempi in cui Clapies divulgherà ufficialmente nel 1707 le analogie per il calcolo trigonometrico e Rivard non darà le istruzioni per calcolare e progettare grandi quadranti solari murali con lo stesso ausilio.
La tradizione dei "macchinari" gnomonici è rimasta viva però fino ai nostri tempi. Basti pensare a qualche illustre esempio dato qualche anno fa dall'astronomo Giuliano Romano, oppure ai simpatici meccanismi (la "meccatronica") proposti dall'Ing. Antonio Rini nei passati seminari di gnomonica.

Bettini quindi aggiunge un corposo contributo a questa tradizione secolare, proponendo i suoi strumenti come ora vedremo.
Nel capitolo primo si legge cosa si propone l'autore in questo "brevissimo compendio". La sua definizione di gnomonica è lontana da quelle accademiche di autori come Clavio o di quelle postume, ormai ben delineate nella sinteticità e chiarezza, di autori come Ozanam. Tra le due scuole però anche questa, che non è certamente completa, può essere interessante letta nella chiave interpretativa di Bettini: "*Universa Gnmonicae philosophiae moles constat è lemmatibus partim opticis, partim astronomicis, & è farica atq; è theorijs multiformium horariorum solarium*". Un universo quindi, filosofico prima che matematico ed astronomico in cui si fondono elementi di varie discipline come l'ottica, e la fabbrica artigianale del costruire tante varie forme di orologi solari. Una disciplina di lemmi che comprende anche copiose tabelle, come quelle degli archi diurni, delle "latitudini orizzontali", delle altezze solari, delle latitudini polari, dei modi di trovare la linea meridiana, per la descrizione di sezioni coniche, delle declinazioni dei piani, ecc., oltre che ai vari e numerosi tipi di orologi solari che si possono concepire.
Supposto di dare almeno i rudimenti basilari dell'astronomia e della gnomonica, l'autore si propone di offrire al lettore la via più semplice per fare orologi solari con un metodo geometrico basato sulla sola operazione di compasso per descrivere i sistemi orari e uno "instrumentum simplicissimum" per tracciare praticamente le linee di declinazione del Sole.

Il capitolo II è anche interessante perché credo sia il più lungo in assoluto dedicato al primo lemma fondamentale della gnomonica, ripetuto in ogni trattato e cioè che la terra può considerarsi un punto al centro della sfera celeste senza influire con il suo semidiametro sulle teorie gnomoniche. Per parlare di questo Bettini parte nientemeno che da Seneca, dalla prefazione al libro I delle Questioni Naturali, passando per Vitellione, Sacrobosco e Clavio!

I capitoli III e IV sono un "compendium" relativo alla teoria e alla costruzione dello strumento gnomonico universale che descriverà in seguito. Nel frattempo Bettini ci offre un metodo geometrico "ingegnoso", la dove tale parola dovrebbe essere intesa come "inusitato", o "nuovo", per descrivere le ore astronomiche in un orologio solare del tipo "polare". Ho provato a rintracciare questo metodo nella "Gnomonices" di Clavio, ma non l'ho trovato.

"Ingeniosus modus inveniendi puncta horaria in linea Aequinoctiali per unicam circini diductionem invenitur…"

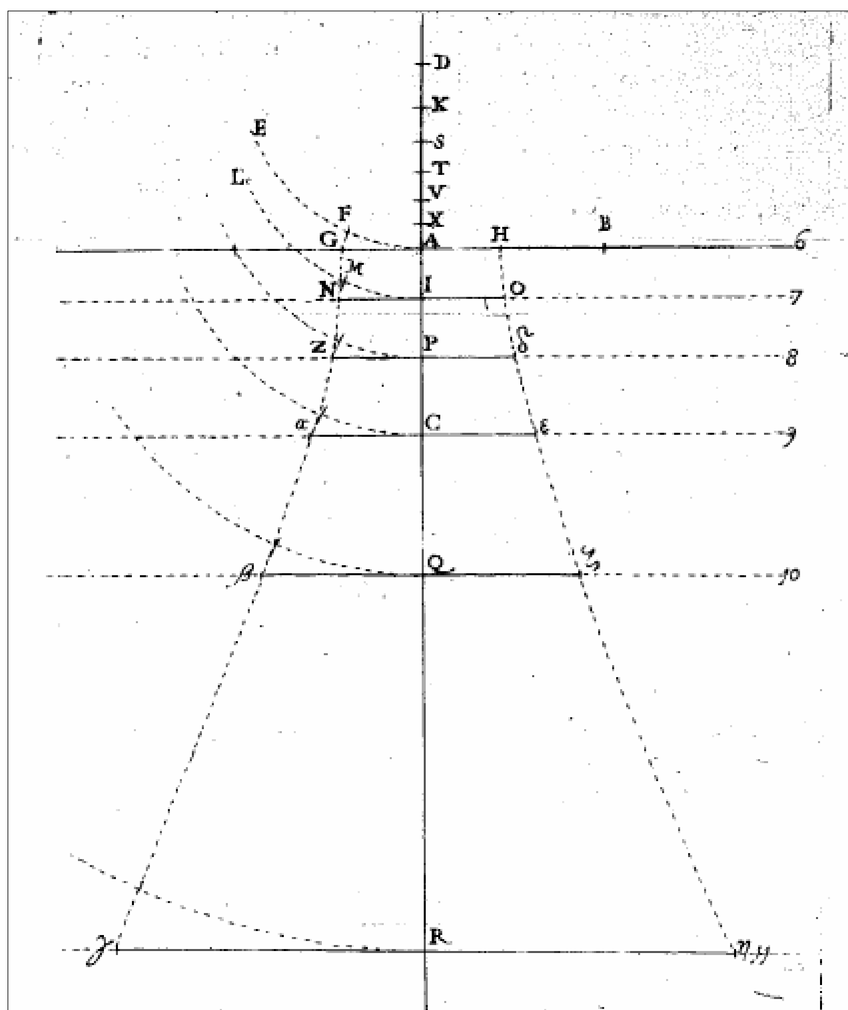


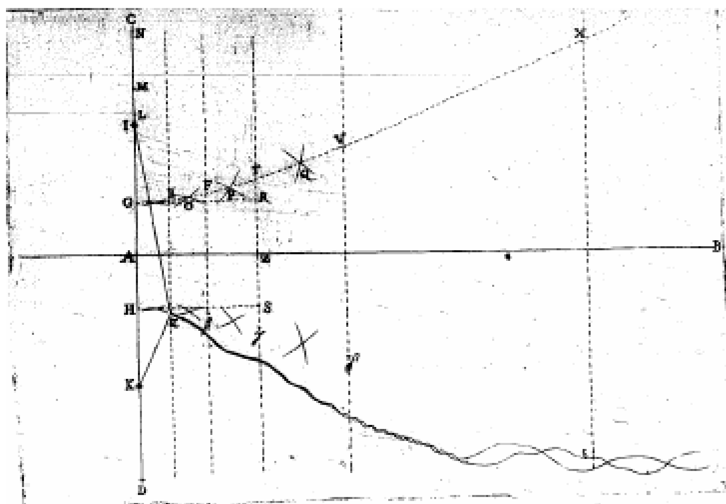
Tracciata la retta verticale dell'ora sesta astronomica **BC** e la linea equinoziale **AD** perpendicolare a **BC**, si sceglie l'apertura di compasso a piacere, per esempio **AB**, e centrando il compasso in **A**, si traccia il semicerchio **BEC.** Con la stessa apertura, si centra in **E** e sullo stesso semicerchio si prende il punto **F**; centrando poi in **C**, si prende il punto **G**. Con la riga su **B** si tracciano le semirette **BF** e **BG** tagliando la linea equinoziale **AD** nei punti **H** ed **I**. Poi prolungando **CG** si trova sull alinea equinoziale il punto **K** e per **CF** il punto **D**. I punti così trovati **HIEKD** sono i rispettivi punti orari 7,8,9,10,11 per i quali passano le perpendicolari alla linea equinoziale, e queste sono le linee orarie. La dimostrazione di questo metodo è facile da capire perché i segmenti **CF, FG, GE**, sottendono un angolo sulla circonferenza in **B, CBF, FBG, GBE**, pari a 15 gradi, l'equivalente dei singoli angoli orari.

Il modo per trovare le linee di declinazione nello stesso orologio non è da meno e neppure mi è parso di vederlo descritto da Clavio. Infatti l'autore dice che in genere le curve di declinazione del sole sono tracciate negli orologi solari meridiani e polari per particolari latitudini con il "raggidico dei segni", cioè per mezzo della figura del trigono dei segni e che quindi questo metodo geometrico proposto di costruzione, derivato dalla "sfera retta", è un nuovo esperimento.

"Solis parallelos per denos signorum Zodiaci gradus in polarium planorum horolabjis geometricè describere".

Nella figura sottostante si può vedere la metà di un orologio polare visto in verticale. **DR** è la linea equinoziale attraversata dalle perpendicolari nei punti **A, I, P, C, Q, R** che sono le linee orarie trovate nel modo precedente. L'autore, conformando questa "metà" orologio polare allo strumento universale per descrivere orologi solari che vuole presentare, assume che la linea meridiana delle ore 12 sia invece l'ora sesta astronomica e le numera quindi con 6,7,8,9,10,11. Per trovare i punti per i quali passano le iperboli solstiziali di declinazione solare, che qui è considerata massima, quindi equivalente a 23,5°, si sceglie a piacere la lunghezza dello gnomone ortostilo che qui viene ribaltato lungo la linea meridiana da **A** in **B**. Dunque **AB** è lo stilo scelto. La lunghezza dello stilo **AB** viene riportata lungo la linea equinoziale a partire da **A**, trovando quindi il punto **D**. Con apertura di compasso **DA** e centro in **D**, si traccia l'arco di cerchio **AE**. Con apertura di compasso pari alla declinazione del sole relativa alla curva che si vuole disegnare (può essere quella solstiziale, ma anche un altro parallelo di declinazione relativo agli altri segni zodiacali) – oppure per mezzo di un quadrante graduato o goniometro – si trova sul detto arco di cerchio il punto **F** che è il punto della curva di declinazione dell'orologio. Questa procedura la si estende a tutti gli altri segmenti orari, riportando quindi la lunghezza dello stilo sulla linea equinoziale dai punti **I,P,C,Q,R** e trovando dall'altra parte i punti relativi **K,S,T,V,X**, da cui si costruiscono gli archi di cerchio **IL** ecc, e si trovano i punti della curva di declinazione **N, Z, α,β,γ**, solo che, come tutte le operazioni geometriche, anche questo metodo è soggetto a difficoltà pratiche di esecuzione per le troppe misure che implica con riga e compasso. L'autore offre alla fine una tabella delle declinazioni solstiziali ricavando i valori dalla riforma ticonica (*tabella est justa reformationes Tychonicas*).

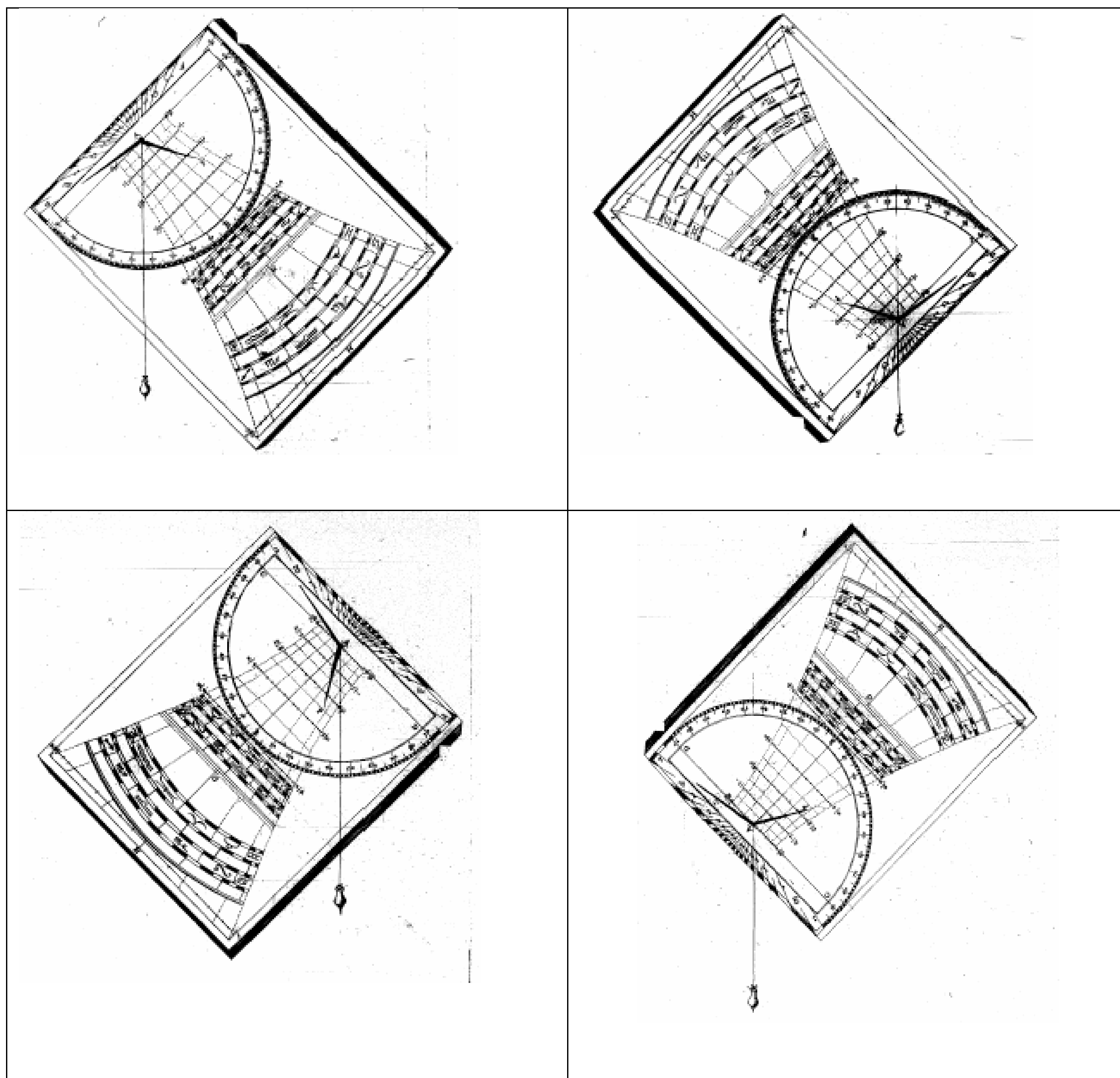




Nella figura sopra invece, Bettini propone la costruzione "geometrica" e "organica" dei paralleli di declinazione sulla base della teoria delle coniche di Apollonio. Il metodo geometrico, che lascia i piccoli segnetti di archi intrecciati, sembra essere lo stesso descritto da Clavio, mentre quello "organico" si rifà direttamente alla costruzione di coniche per mezzo di fili intrecciati legati alla punta di spilli o del compasso in punti stabiliti.

La figura precedente raffigura lo strumento universale concepito dal Bettini, denominato semplicemente "**orario universale**", per trovare ogni genere di ore, gli asintoti, l'elevazione del polo in qualsiasi luogo, l'arco diurno, la linea meridiana, l'ora del sorgere e tramontare del Sole, l'ora di notte per mezzo di una fiaccola (!?), ecc. Come si vede, è costituito da una tavoletta su cui è riportato il disegno (probabilmente incollato con cartoncino) dell'orologio "semi" polare visto in precedenza, ma corredato di tutte e sette gli archi di declinazione zodiacale, la descrizione dei segni zodiacali, un semicerchio graduato (la cui graduazione però continua ed è completata a 360° sul bordo alto dello strumento) per la regolazione della latitudine del luogo ed altre operazioni, e di un filo a piombo che attaccato alla base dell'ortostilo, funziona da "pendolino".

Nelle figure qui sotto lo strumento è settato per la latitudine di 45 gradi e per l'uso ci si avvale sia della lettura dell'ora sia del calendario con il vertice dell'ombra dello stilo, ruotando lo strumento a diverse angolazioni.



Gli asintoti: una scoperta sulle origini?

Nel capitolo III, Bettini parla degli asintoti. E' la prima volta che in un libro di gnomonica viene incluso questo argomento. Ma qui è bene aprire una piccola parentesi. Ho provato a cercare per ore su internet notizie storiche sugli asintoti, ma ho trovato solo definizioni puramente matematiche. Si sa che lo studio delle coniche inizia con Apollonio, ma riportandoci al secolo di Bettini, non ho potuto trovare nessuna traccia relativa ai primi autori che hanno discusso di asintoti. Gli unici riferimenti che ho visto sono legati semplicemente a dei periodi in cui si pensa che essi furono sviluppati nelle teorie della geometria analitica. Ecco i riferimenti trovati:

- *Sapere.it* data genericamente al XVII secolo i primi studi sugli asintoti:
- *Webster Dictionary* riporta una data precisa: il 1656;
- *Dictionary.reference.com* ne riporta le origini tra il 1650 e il 1660;
- *Encarta enciclopedia* alla metà del XVII secolo;
- *Etimonline.com* riporta la data di origine del 1656.

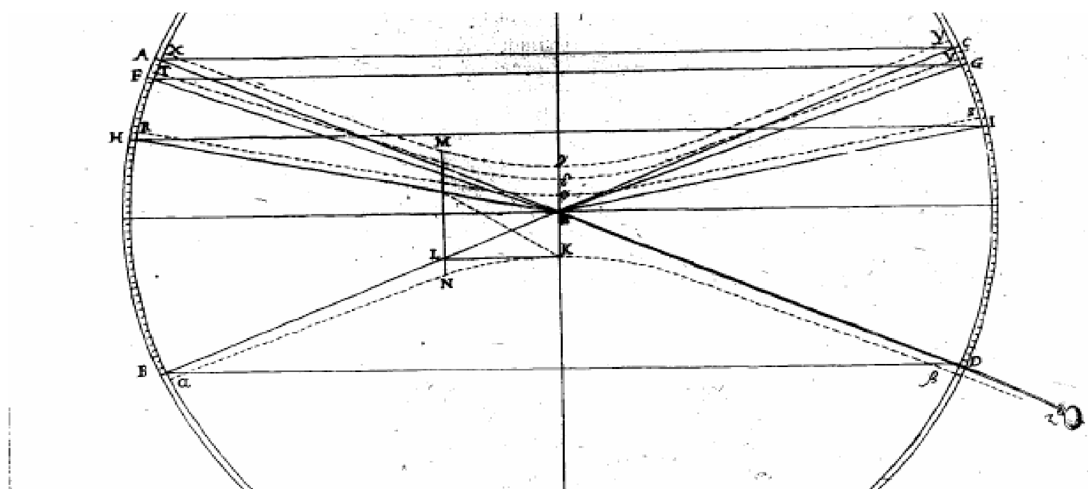
Questi pochi e rari esempi, sembrano essere tutti concordi nel riportare il periodo o più precisamente la data "minima" da cui partirebbero le origine degli studi sugli asintoti, cioè il 1650 o il 1656. E' probabile quindi che la nostra sia ancora una volta una piccola interessante scoperta perché il padre Bettini trattò degli asintoti in questo libro, la cui prima edizione è del 1641, cioè ben nove anni prima della data minima proposta dalle enciclopedie. Ma non è tutto perché si deve tenere conto che il Bettini scrisse il manoscritto del libro diversi anni prima della pubblicazione. Infatti si può leggere la data dell'*imprimatur* della Santa Inquisizione, firmato dall'inquisitore Alexander Venturinus, in Bologna il 22 luglio del 1635, cioè ben 15 anni prima della data minima del 1650.

Ed ecco Bettini come definisce l'asintoto nel titolo del paragrafo:

> Asymptotos, hoc est lineas semper magis ad se se accedentes, et nunquam se contingents, tum curvas cum rectis, tum curvas cum curvis plures quam 720 in plano nosti horarji exhibere.

Ed ecco la definizione moderna che si trova su Wikipedia:

> Il termine asintoto è utilizzato in matematica per denotare una retta, o più generalmente una curva, che si avvicina indefinitamente ad una curva data. Con il termine asintoto, senza ulteriori specificazioni, si intende, genericamente, una retta, a meno che dal contesto non emerga un altro significato, quando si vuole essere più specifici si parla di retta asintotica o, più in generale, di curva asintotica.



La figura degli asintoti riportata da Bettini

L'orologio polare e l'Airone

Evidentemente Bettini ha un debole per le teorie dell'anamorfosi e della proiezione di forme geometriche per mezzo di fonti luminose. Così inventa l'orologio polare raffigurato sotto che funziona come un normale orologio polare con l'Airone che sorregge per una zampa il quadrante inclinato della latitudine del luogo e con il becco parallelo all'asse terrestre che fa da gnomone. La punta del becco da l'indicazione calendariale sulle curve di declinazione solare. Probabilmente l'orologio è utilizzato anche insieme all'orario universale descritto prima e viene aggiunto un modo di proiettare l'ora attraverso questo quadrante su una superficie murale o comunque orientata. Si forano le linee orarie e le curve di declinazione, insieme alla linea equinoziale e alla linea meridiana. Illuminando con una fiammella la punta del becco dell'uccello si possono notare le proiezioni attraverso i fori praticati, sul piano di un altro orologio.



Istituto e Museo di Storia della Scienza di Firenze



Lo stesso orologio visto frontalmente
Istituto e Museo di Storia della Scienza di Firenze

Lo strumento universale

Seguendo la tradizione della strumentaria gnomonica iniziata a partire dalla metà del XVI secolo e sviluppatasi maggiormente dal 1590 alla metà del XVII secolo[4], Bettini descrive il suo "strumento universale" che comprende l'uso dello "strumento orario universale" descritto in precedenza. Alla fine si tratta di una macchina del tutto simile al noto "raggidico solare", o "radio gnomonico" perfezionato anche da Pardies. La differenza sostanziale sta nel fatto che le macchine raggidiche inventate fino a Pardies sfruttavano il principio di proiezione di un orologio solare equatoriale elevato alla latitudine del luogo, mentre Bettini utilizza il suo "orario universale" che è sostanzialmente un orologio polare. Vediamo in particolare le componenti dello strumento inventato dal gesuita analizzando la figura che segue.
Esso è costituito da:

1) Una tavola rettangolare in cui è intagliato sui lati delle curve di declinazione solstiziali un orologio polare ad ore astronomiche;
2) Ivi sono riportate le sette linee di declinazione del sole al suo ingresso nei segni zodiacali;
3) Un circolo **ACD** graduato e con una ulteriore graduazione angolare in corrispondenza dell'intersezione con le linee di declinazione solare (**EOD**).
4) Un timpano su cui sono riportati tre circoli concentrici di cui quello esterno riporta la doppia suddivisione delle ore astronomiche da 1 a 12 e a seguire internamente, il cerchio della ore Babiloniche e l'ultimo più interno il cerchio delle ore Italiche.
5) Un quadrante graduato in 90°;
6) Un piedistallo dotato di bussola di orientamento e bolla di livella.

La tavoletta oraria è dotata di un ortostilo impiantano al centro, come nei normali orologi polari e al cui vertice va legato un filo che servirà a proiettare gli elementi dell'orologio sul quadrante da realizzare. Come si può vedere, i tre cerchi concentrici, servono per proiettare i tre sismeti orari Astronomico, Italico e Babilonico. In corrispondenza delle ore 12 astronomiche sul cerchio esterno, giace il secondo cerchio delle ore Babiloniche che inizia con l'ora 6 e più internamente il terzo cerchio delle ore Italiche che inizia con le oer 18. Ciò indica anche la corrispondenza oraria tra i vari sistemi nei giorni di equinozio quando, cioè, alle ore 12 astronomiche corrispondono le ore 6 babiloniche e le ore 18 italiche (cosa che si osserva nei normali orologi murali che riportano i tre sistemi orari che si intersecano sulla linea meridiana e la linea equinoziale in corrispondenza delle stesse ore 12, 6, 18).

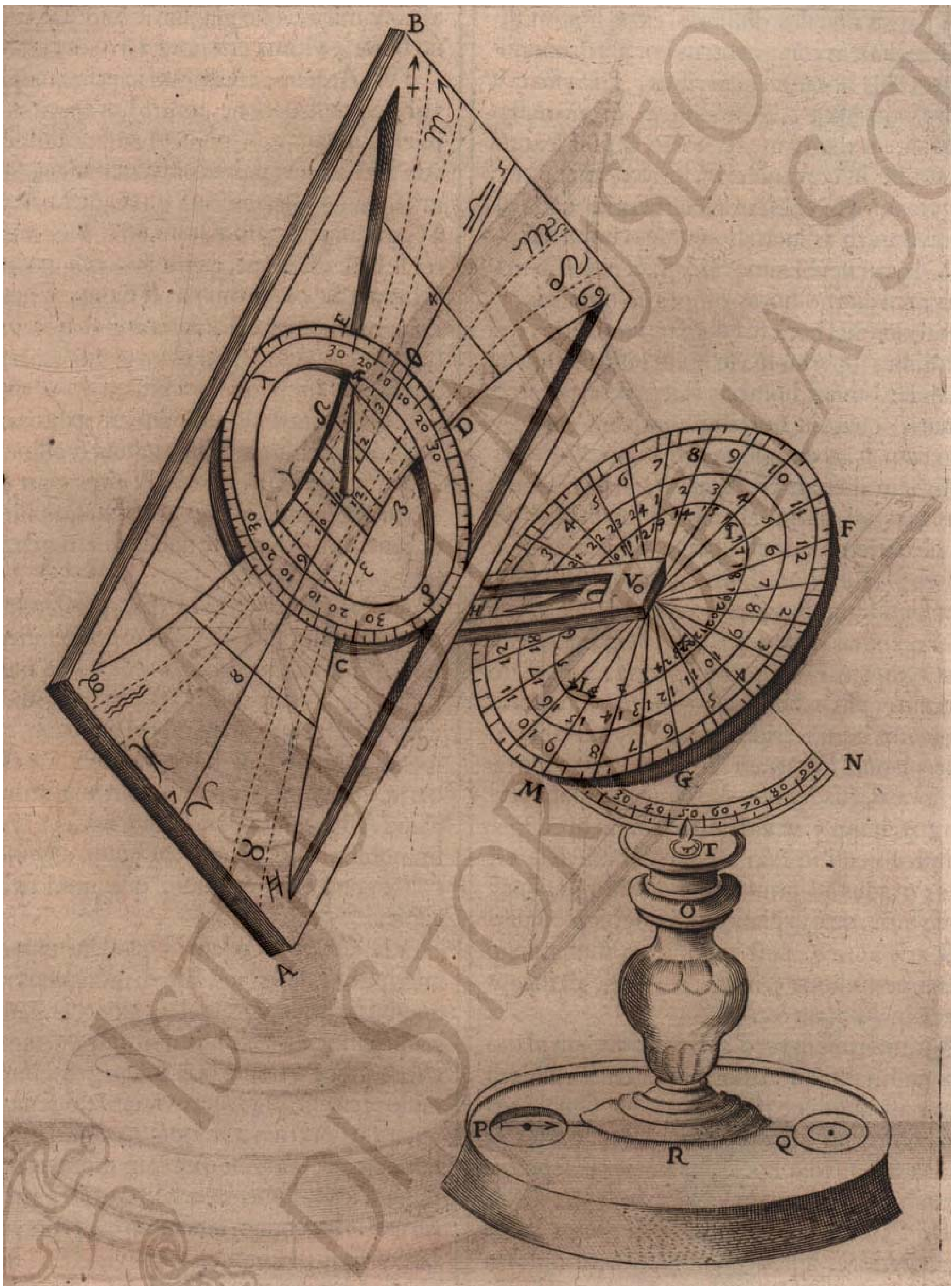
Il fusto del piedistallo deve essere perpendicolare alla base su cui può anche ruotare e quest'ultima è direzionata dalla bussola e livellata dalla bolla posta nel foro **Q**. La riga di legno **VH** sostiene il quadrante orario **AB** in modo perpendicolare al piano del circolo **MGF** e lo stesso quadrante può scorrere nell'incanalatura della tavoletta di legno. La regola prevede che il quadrante orario sia distante dal centro **V** per la quantità pari alla lunghezza dell'ortostilo gnomone. In tal modo il vertice dello gnomone giace sulla verticale del punto **V**, ovvero di una ipotetica sfera celeste in cui il timpano diventerebbe un normale orologio equatoriale. E' facile allora immaginare l'uso della macchina che proietterebbe le linee orarie del piano **MNG** come un normale orologio equatoriale, tramite il filo legato alla punta dell'ortostilo e le linee di declinazione della tavoletta oraria diventerebbe così un normale "trigono orario".

In definitiva la macchina di Bettini è sostanzialmente una variante del Trigono di Pardies e dello strumento descritto da Clavio i quali, per costruzione ed uso, sembrano però essere di più facile concezione e praticità. Resta fermo il nostro plauso per il gesuita che in questo trattato si distingue dagli altri autori per non aver fatto semplicemente una breve e superficiale ricapitolazione delle regole gnomoniche e della costruzione dei principali orologi solari, ma di averne reinterpretato a proprio modo di vedere, e a seconda delle proprie teorie ed esperienze di geometria, il senso e la pratica degli strumenti gnomonici per costruire quadranti solari.

---

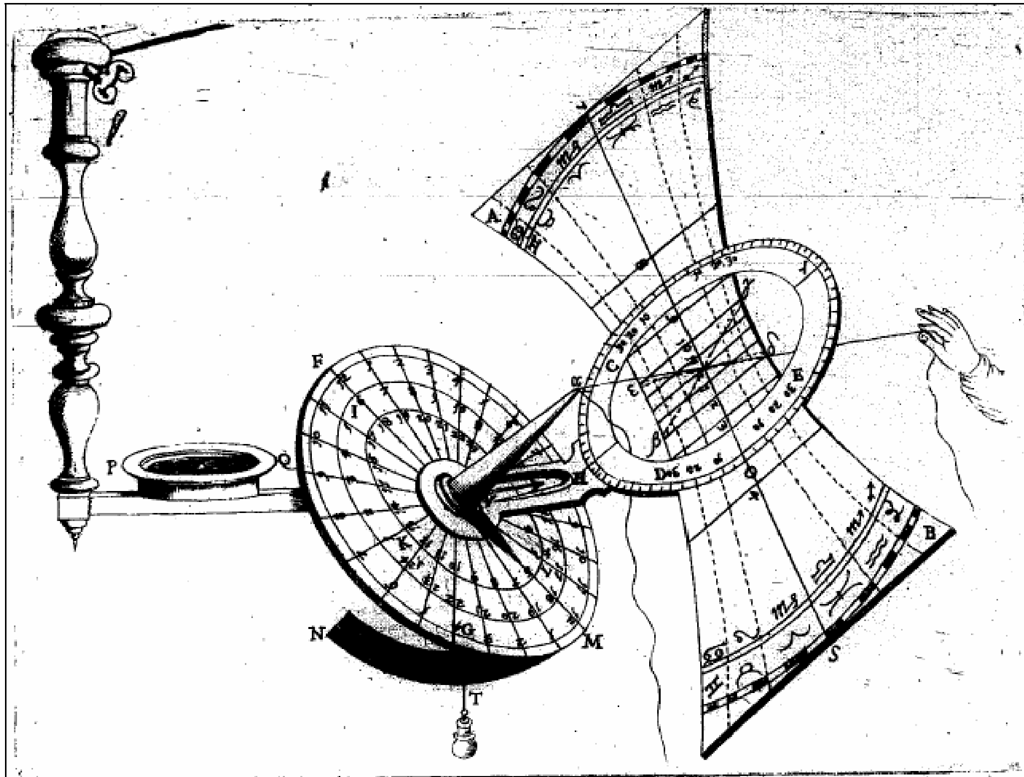
[4] Si ricorda a tal proposito il già nominato padre Giovanni Ferrero Spagnolo, menzionato da Cristoforo Clavio quale precursore dello strumento che pubblicherà con tanto di approfondimento nella sua opera "*Fabrica et usu Instrumenti ad horologiorum descriptionem*" del 1586.

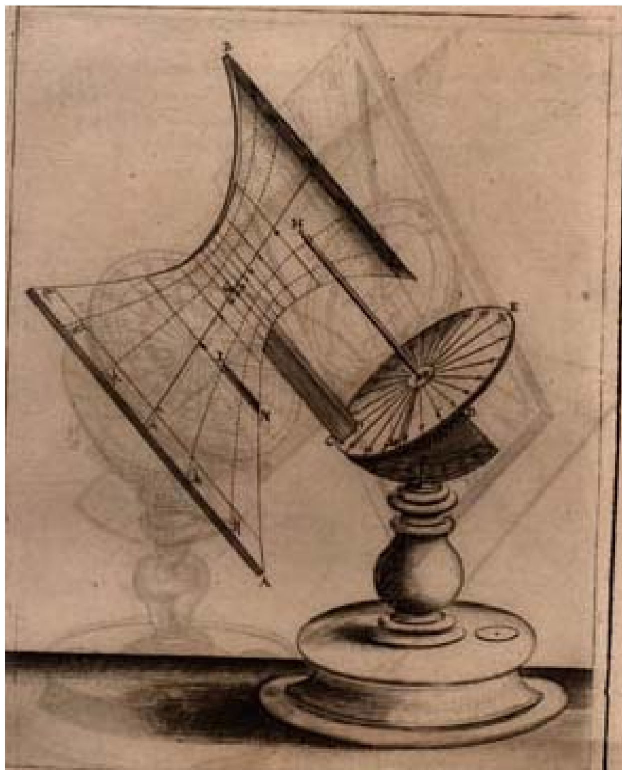
Strumenti che dovevano avere, come sempre, la caratteristica di essere universali nella loro applicazione.

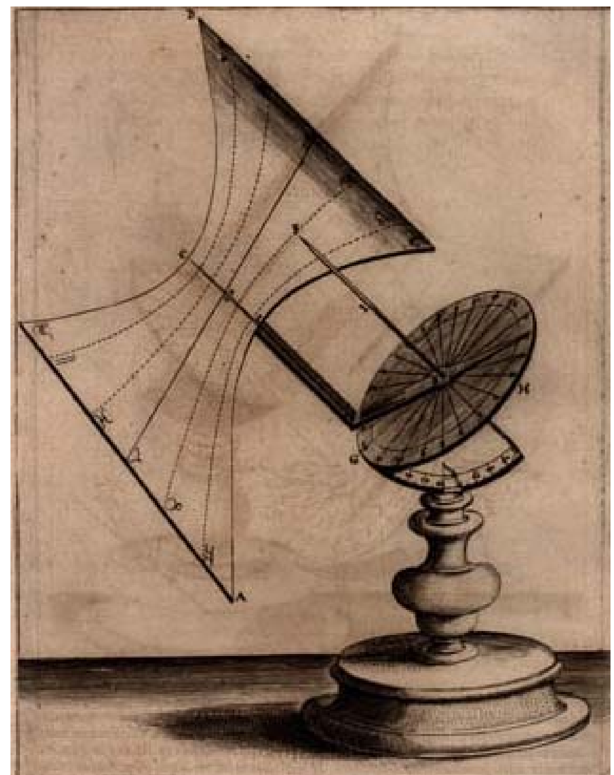


Istituto e Museo di Storia della Scienza di Firenze

Uso dello strumento come descritto da Bettini.

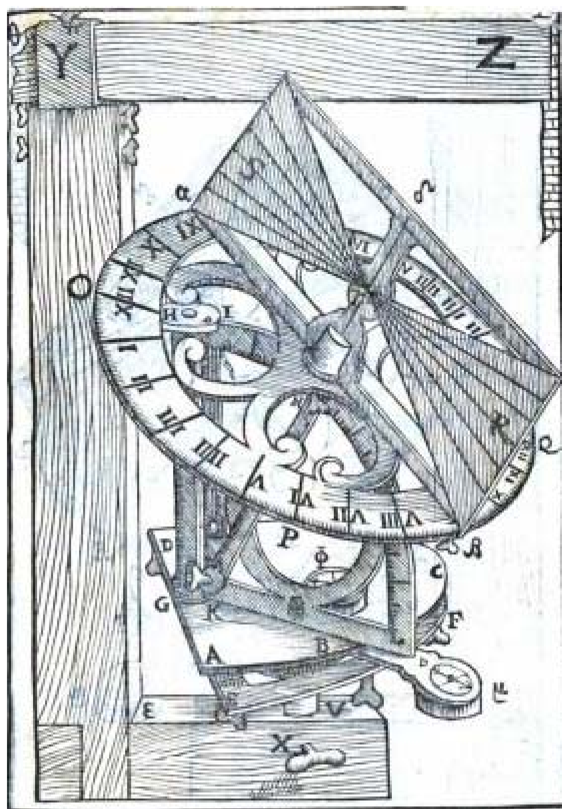






Istituto e Museo di Storia della Scienza di Firenze

Variante dello strumento con l'uso di uno gnomone sul timpano equinoziale che proietta l'ombra e mostra l'ora su entrambi gli orologi, equinoziale e polare.



Qui è lato è raffigurato lo strumento descritto da Cristoforo Clavio nel suo libro "*Fabrica et usu instrumenti ad horologiorum descriptionem…*" pubblicato a Roma nel 1586. Come si vede, i concetti applicativi sono simili. Un circolo orario è applicato ad un quadrante graduato attaccato ad una base ed il tutto reso snodabile, mobile ed orientabile a seconda della latitudine del luogo, ecc. Un trigono dei segni, o "raggidico solare" è posto sulla parte superiore imperneato al centro del circolo orario. Nello strumento di Bettini, la tavoletta oraria con l'orologio polare e le curve di declinazione del Sole è posta al lato del circolo equinoziale orario, ma il vertice del suo ortostilo giace nel punto centrale del raggidico solare dello strumento di Clavio.

Si tratta quindi, sostanzialmente come detto, di una variante dello strumento originario ideato da Giovanni Ferrero Spagnolo, ripreso e descritto da Clavio e modificato e divulgato anni dopo anche da Gaston Pardies, per il quale strumento divenne famoso poi per il successo che esso ebbe tra i costruttori di orologi solari francesi e di tutta Europa.

Il metodo geometrico conosciutissimo per tracciare le linee orarie Italiche e babiloniche: un'invenzione del Bettini?

Questo libro non finisce di stupirci. Progymnasma IV, cap. I, metodo geometrico, con una unica apertura di compasso, per tracciare le linee orarie Italiche e Babiloniche in un orologio solare orizzontale. Bettini sembra indicare chiaramente che si tratta di un metodo da lui divulgato per la prima volta[5]:

"De horizontalium horariorum geometricà descriptione omnium facilissimà. De usibus, ac theorijs eroudem non vulgatis"

e quindi descrive il metodo:

Vnica circini diductione horarium horizontale astronomicum construere; puncta pro semissibus, & quadrantibus, ac pro lineis Italicarum horarum ducendis inuenire.

Che qui riassumiamo nelle linee essenziali liberamente tradotto. Con riferimento alla figura seguente:

I. Tirata la linea meridiana **AB** e, ad angolo retto, la linea Equinoziale **CD** (nella figura la lettera **D** appare come una **T**), con centro in **E** si traccia il semicircolo che forma i quadranti **FNGH**. Più grande sarà il semicircolo e tanto più grande

[5] Questo metodo non si trova in Clavio e negli autori del '500, mentre alcuni ne descrivono uno simile, dopo di lui; per esempio Scanavacca, nella pratica 10; Kircher nell'Ars magna, pag. 377, ma non è uguale a questo; Marco Galli, nella Miscellanea Matematica, p. 213, simile; Agostino Dal Pozzo, nella Gnomonices Biformis, a pag. 86, simile, ma non uguale.

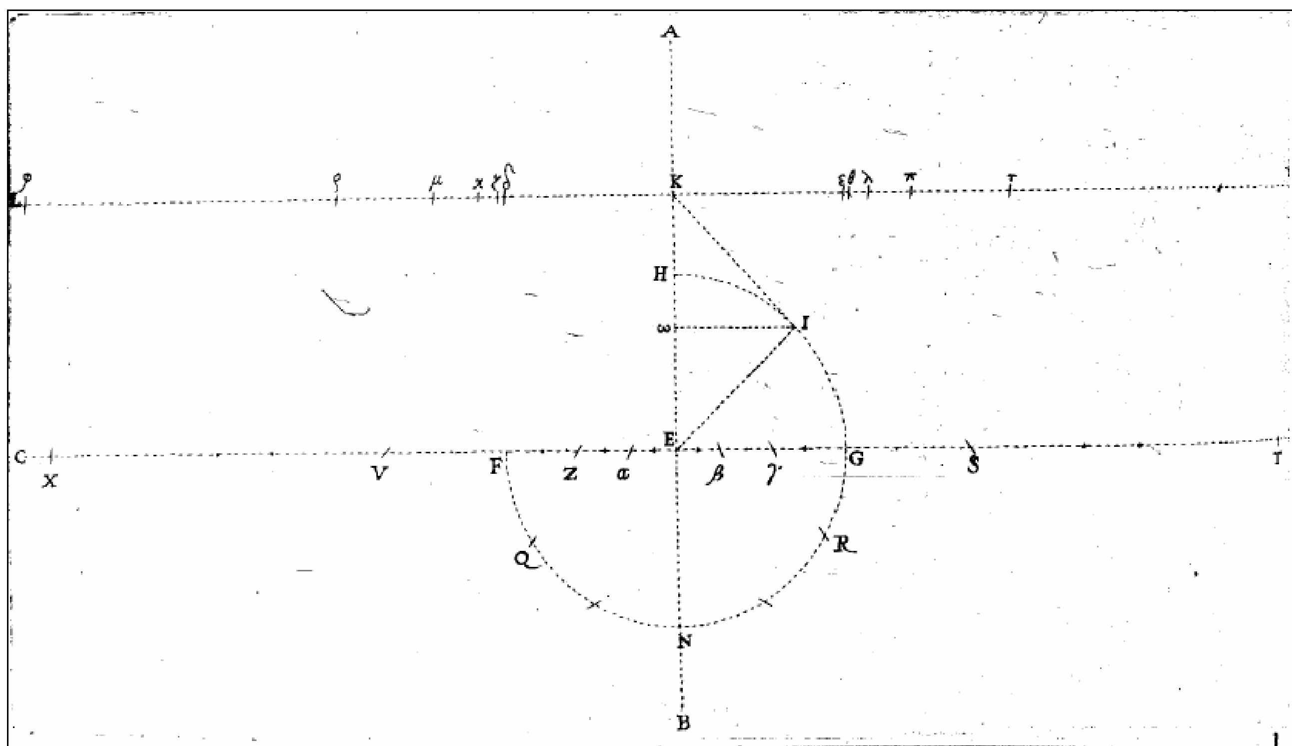
risulterà l'orologio nelle sue dimensioni. Da **G** verso **I** si prende l'altezza del polo, cioè tanti gradi quanti sono quelli della latitudine del luogo che nell'esempio è supposta essere 45°. Si tira la linea **EI** e la perpendicolare **IK**, che rappresenta l'asse del mondo, ovvero l'assostilo, e seca **AB** in **K**, centro dell'orologio; per **K** si tira la linea **LM** parallela alla Equinoziale **CD**.

II. I punti orari sulla Equinoziale sono presi con il metodo esposto nel Progymnasma I, cap. 5, che abbiamo descritto sopra ("*Ingeniosus modus inveniendi…*") . Quindi con apertura di compasso **EG** (*unica circini diductione*) e centrando in **N**, si trovano i punto **Q** e **R**; centrando in **R**, si segna il punto **S** e, raddoppiando l'apertura di compasso, da **S** si trova **T** e, dalla parte opposta, da **S** si trova **α**; lo stesso da **Q** fino in **V,** si raddoppia questa apertura di compasso da **V** ad **X** e, all'opposto, da **V** fino a **β**. Applicando la riga da **H** a **Q** e da **H** a **R**, si notano i punti **Z** e **γ**.

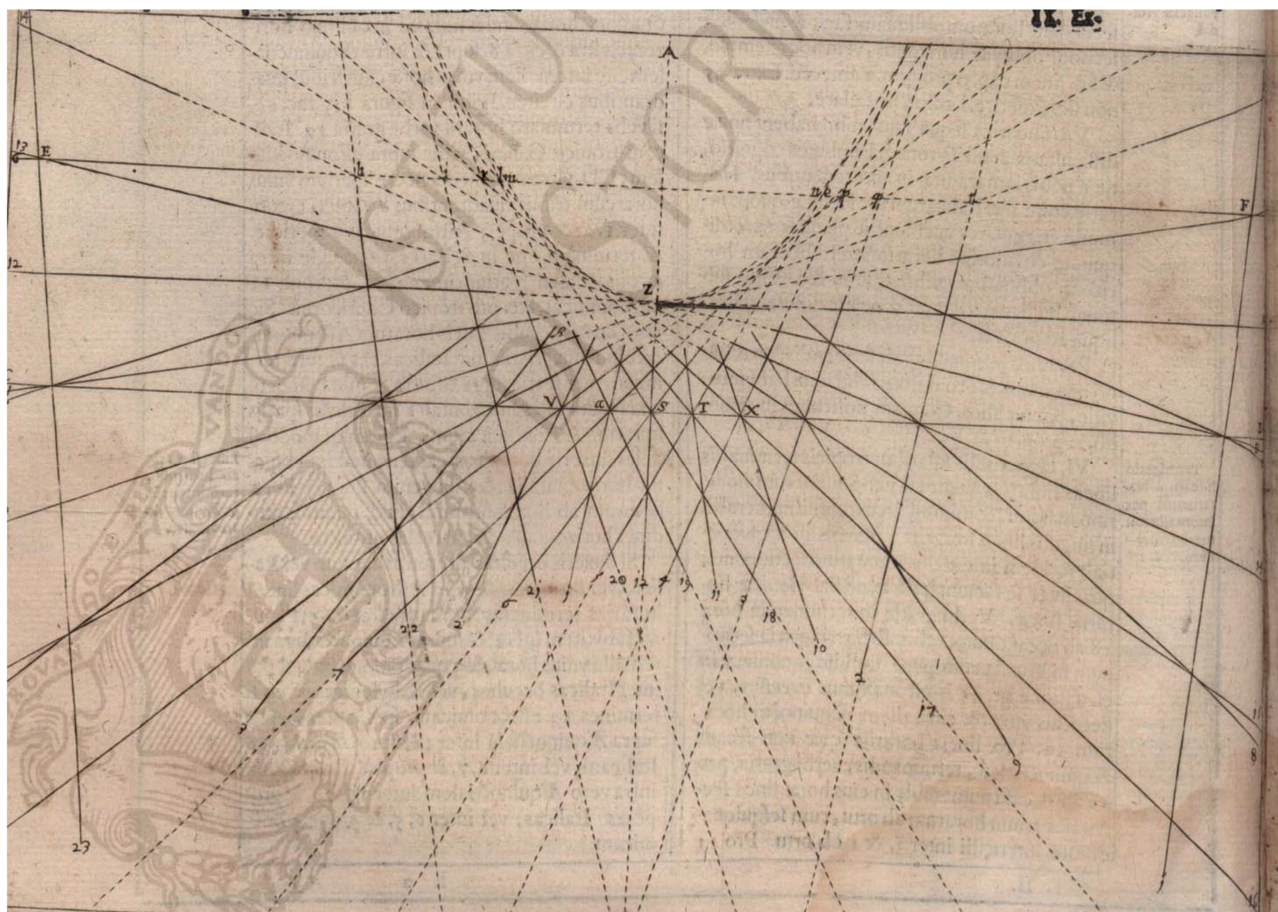
III. Trovati i punti orari sulla Equinoziale, si possono tracciare le linee orarie astronomiche con la riga come visto in precedenza;

IV. Sull'ora Sesta astronomica, **LM**, si trovano i punti che congiunti con quelli trovati sulla linea Equinoziale **CD** danno le ore Italiche e Babiloniche. Con la riga, o compasso, si riporta **EN** da **K** fino a **δ** e, dall'altra parte, fino a **ε**. Quindi si riportano allo stesso modo i rimanenti intervalli **Nα** o **Nβ**, rispettivamente da **K** a **ζ** e da **K** a **θ**; **NZ** in **Kχ** e **Kλ**; **NF** in **Kμ** e **Kπ**; **NV** in **Kρ** e **Kτ**; **NX** in **Kφ** e **Kψ**. Sulla linea **KE** si tira la perpendicolare dal punto **I**, vertice dell'ortostilo ed assostilo, oppure parallelamente alla linea Equinoziale. Si trova così il punto **ω** che rappresenta il piede dell'ortostilo.

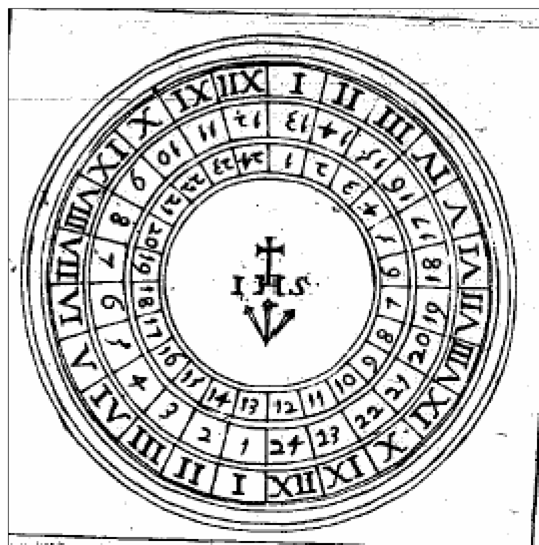
Le linee Italiche e Babiloniche si tracciano congiungendo appropriatamente i punti trovati della linea dell'ora Sesta astronomica con quelli delle linee orarie astronomiche sulla linea Equinoziale. Per esempio, congiungendo **ρ** con **V** si ottiene l'ora italica 22; **μ** con **F**, l'ora italica 21; **χ** con **Z,** l'ora 20; **τ** con **α** l'ora 19, **δ** con **E** l'ora 18… e via dicendo. All'opposto si tracciano allo stesso modo, ma specularmente, le ore Babiloniche.



Schema grafico del metodo descritto da Bettini per tracciare le ore italiche su un orologio solare orizzontale utilizzando solo una unica apertura di compasso (anche se poi questa viene raddoppiata in certe fasi!). Al centro della figura si nota il triangolo stilare **KIE** di cui **KI** è l'assostilo, **K** il centro dell'orologio, **Iω** l'ortostilo con omega il suo piede; **E** centro dell'Equinoziale; **I** vertice dell'assostilo e dell'ortostilo. **CT** (sarebbe **CD** nel testo), la linea Equinoziale; **AB** la linea meridiana e **LM** (**M** invisibile nella figura) la linea passante per **K**, detta ora Sesta astronomica (in tempi moderni "retta alba-tramonto").
Bettini riporta anche la dimostrazione del suo metodo e infine il disegno dell'orologio completo delle ore astronomiche, italiche e babiloniche, come lo si vede qui sotto:



Istituto e Museo di Storia della Scienza di Firenze



Nei paragrafi successivi Bettini si dilunga sulla spiegazione delle linee orarie Italiche, Astronomiche e Babiloniche e delle informazioni che si possono trarre dalla lettura di un siffatto orologio solare. Riprende la descrizione di una "volvella" (figura a lato) formata da tre dischi ruotanti su un perno centrale, ognuno dei quali reca uno dei tre sistemi orari, Astronomico, Italico e Babilonico e serve per facilitare la lettura della corrispondenza dei tre sistemi. Inoltre descrive un metodo di collocare correttamente un orologio solare orizzontale senza l'ausilio dell'ago magnetico per la direzione del Nord. Riprende la descrizione di un metodo di Francesco Maurolico su come leggere l'ora di notte su un orologio solare orizzontale per mezzo della "raggiante" luce lunare,[6] aggiungendo poi di suo

[6] Per informazioni su come costruire un orologio lunare si veda il sito di Simone Bartolini: http://www.quadrantisolari.it/orologiolunare.htm

come convertire la lettura in ore Italiche e Babiloniche. Interessante anche la citazione di un passo di Guidobaldo del Monte su come realizzare un orologio verticale o murale, partendo da un orologio orizzontale, per mezzo della proiezione ottica (riflessione dei raggi solari?), se si considera che Guidobaldo morì nel 1608 e che il primo libro specifico sulla gnomonica riflessa fu pubblicato da Schoenberger circa 14 anni dopo. Qui si legge il termine di Guidobaldo "gnomonem oculi altitudinem" che credo stia ad indicare l'altezza del vertice dello gnomone dal piano orario, ma la parola "*oculum*" si riferisce certamente ad uno gnomone, come si direbbe oggi, "a piastra forata", cioè un foro gnomonico.

Progymnasma V, gli orologi solari portatili d'altezza

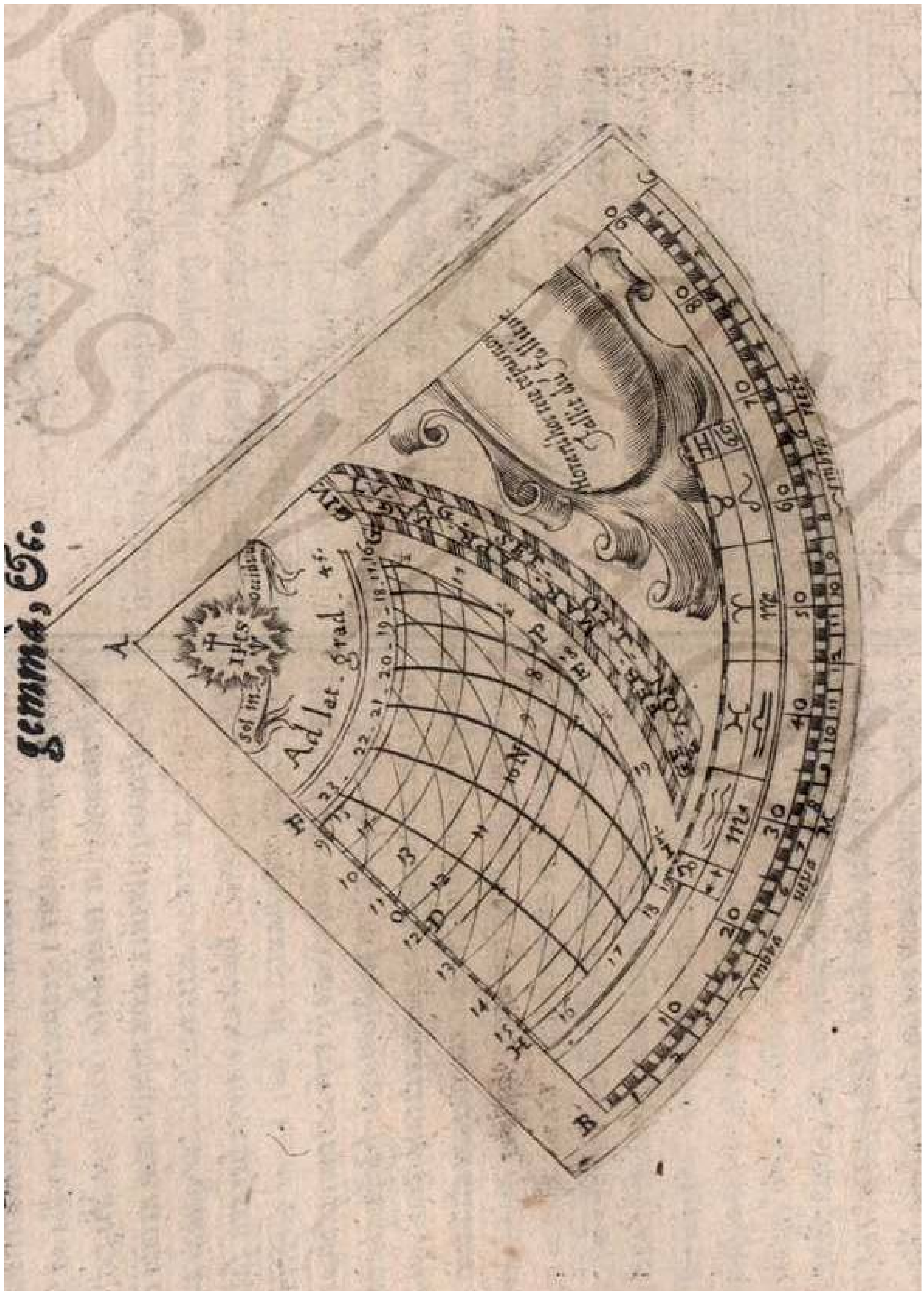
Si è visto che questo libro di gnomonica di Bettini non è il classico trattatello in cui sono descritte le regole generali della gnomonica e il programma completo degli argomenti secondo lo schema ormai consolidato e ripetuto in tutte le maggiori opere dal Rinascimento. Qui il nostro autore racchiude alcuni studi ed esperienze particolari, proponendo metodi e strumenti innovativi che certamente sono il risultato di approfondite analisi degli argomenti trattati dagli autori precedenti, ma che vogliono anche essere una novità. Un qualcosa che rispecchi lo spirito filosofico dell'opera dell'Apiaria in una fusione di arte, rigorosità scientifica e ricerca della semplicità dei meccanismi applicativi.

In quest'ottica nascono i "quadranti solari d'altezza" concepiti con una variante di base, di semplificazione, che prevede non solo la correzione della rifrazione solare per la lettura dell'altezza del Sole sull'orizzonte (cosa a cui il padre Bettini mostra costantemente una particolare attenzione in tutta la sua opera), ma la curiosa applicazione pratica che non si avvale, come per gli usi classici, dell'uso delle pinnule, delle diottre, di stili gnomoni, di fili a piombo e di perline: "***In quadrante horario nosse horam, et Solis altitudinem sine usu pinnularum, sine dioptrae, sine usu styli, sine perpendiculo, Gemmà, etc***..."

Il quadrante orario descritto da Bettini è un normale quadrante, come se ne costruivano già dalla metà del '500. Lo si può vedere nella figura sotto. Principalmetne è dotato del quadrante **BC** graduato da 0 a 90° e della griglia oraria riportata sul lato **AB**, accompagnata a destra dai settori zodiacali. Sul lato **FH** sono riportati i paralleli di declinazione che in questo caso sono in numero maggiore rispetto si soliti tre dei solstizi ed equinozi. All'interno sono riportate le linee delle ore Astronomiche (oblique) ed Italiche (verticali). Quadranti con questo tracciato orario furono realizzati da Joseph Pinam, da Giovan Battista Giusti nel 1565 e 1568 e da Girolamo della Volpaia nel 1570, ma erano tutti dotati di pinnule, traguardi e fili con perla. L'uso di questo quadrante non è molto chiaro, ma pare che per leggere l'ora sia necessario, oltre che le predette tavole di rifrazione del Sole, dotarsi di un righello. Per esempio, se l'altezza del Sole è 30°, quindi nel punto **M** corrispondente a 30° del quadrante inferiore suddiviso da 1 a 90°[7], si applica un righello da **M** ad **A**, centro del quadrante, e si nota il punto in cui esso interseca il parallelo di declinazione relativo al periodo di osservazione, e sia il punto **N** (ciò che corrisponderebbe, ovviamente, alla posizione del filo a piombo con la perlina se il quadrante fosse puntato al sole con le pinnule e traguardi nell'ora dell'osservazione). Il punto **N** quindi indica l'ora 14 ½ astronomica e poco più delle 21 Italiche.
Questo modo di leggere l'ora sul quadrante, praticamente senza osservare direttamente il Sole, può risultare più preciso per una maggiore comodità di pratica e di avere quindi una maggiore certezza nel trovare, tramite un righello, il punto preciso di intersezione del filo a piombo e della perlina che, per piccola che possa essere, ha comunque un diametro che sul quadrante può dar luogo ad una lettura grossolana. Tuttavia ha il difetto che per leggere l'ora si deve usare quasi contemporaneamente un quadrante semplice d'altezza e la tavola delle rifrazioni del Sole per poi passare alla lettura dell'ora su quest'altro quadrante.

---

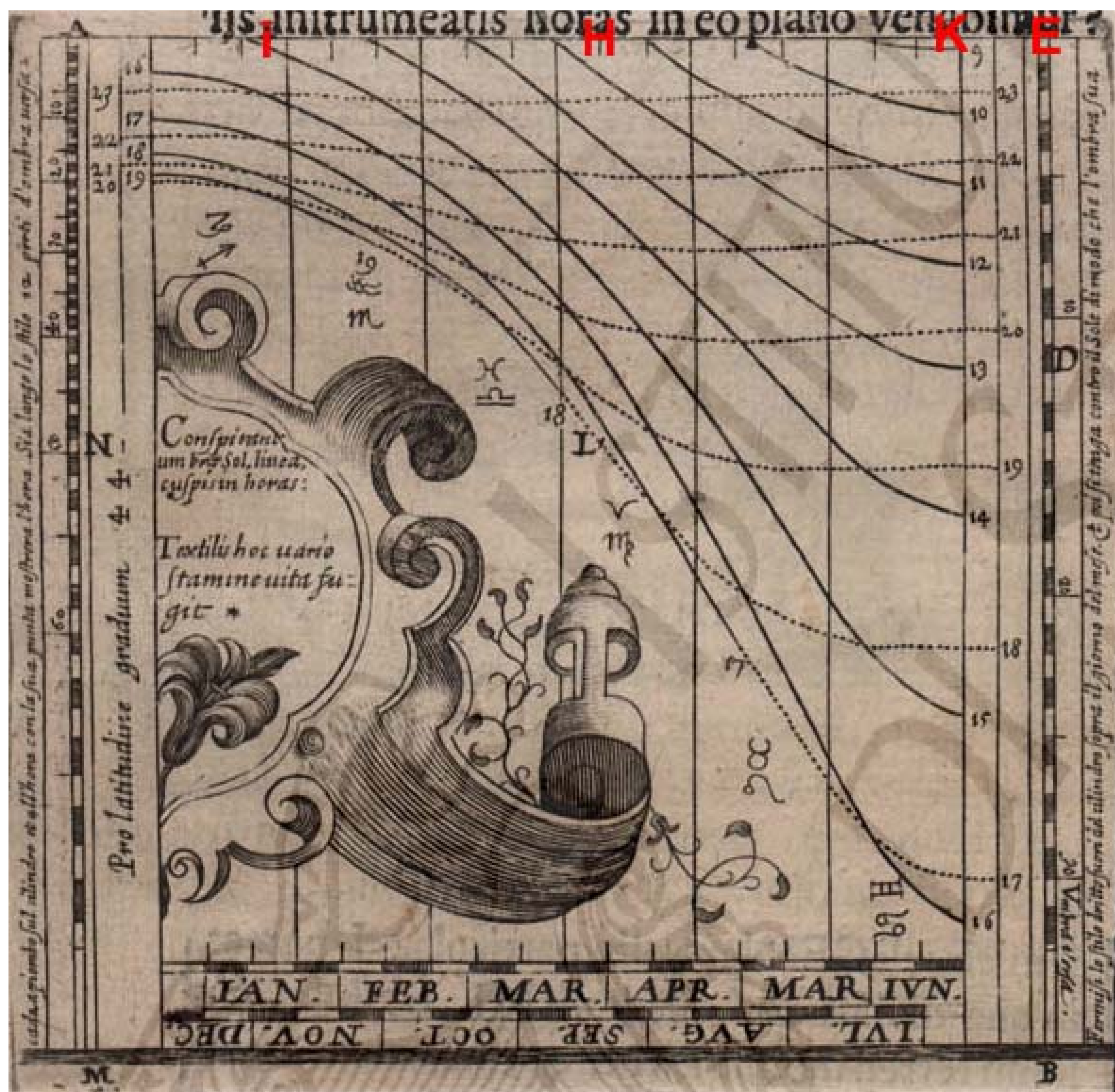
[7] Qui l'autore aggiunge che tale altezza può essere presa con l'ausilio di un altro "*scioterìcum*", cioè orologio solare, o meglio di un semplice quadrante d'altezza senza il tracciato orario "*in quo nulla horae sint scriptae*".



Istituto e Museo di Storia della Scienza di Firenze

Un corollario gnomonico espone come dedurre da questo quadrante altre informazioni oltre alla lettura dell'ora, cioè l'ora del sorgere del sole, del suo transito in meridiano, l'arco semidiurno ecc.
E proprio per quest'ultimo riporta il seguente esempio. Riferendoci alla figura sopra, sia **ONP** il parallelo di declinazione del Sole relativo al giorno in cui si effettua l'osservazione e sia l'ora letta le 11 ½ astronomiche; l'ora italica in P corrisponde alle 17 ¾, ne deriva che l'arco semidiurno sarà dato dal tempo compreso tra questi due valori, cioè di 6 ¾.

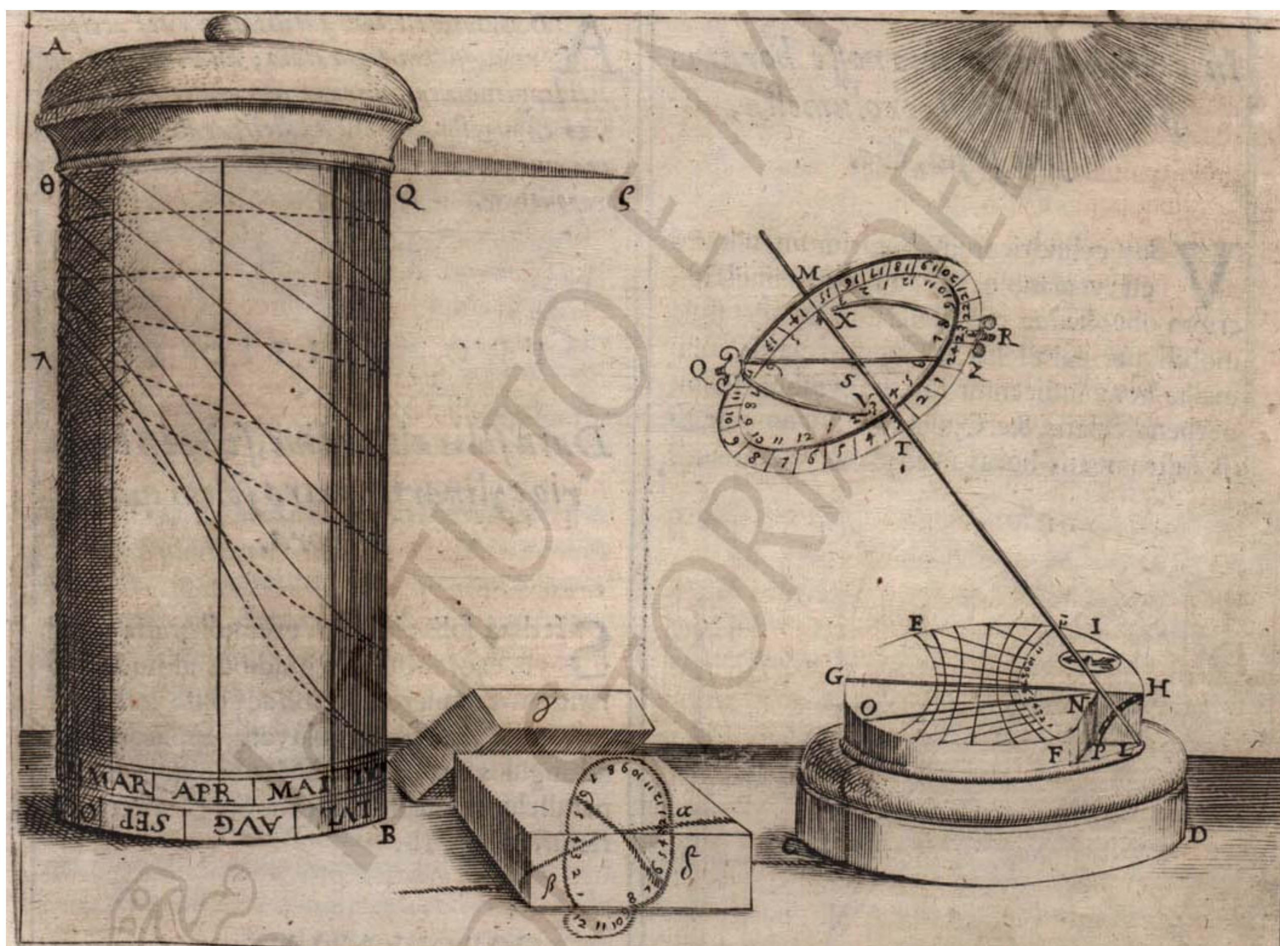
In Cylindrico horario nosse horam sine cylindro, sive columella, sine stylo, etc.
Conoscere l'ora in un orologio cilindrico senza il cilindro, o colonnetta, senza gnomone, ecc.
Come nel caso del quadrante precedente, anche qui l'idea è quella di sfruttare il tracciato orario in piano per conoscere l'ora senza l'uso del cilindro orario a colonnetta, senza lo gnomone incassato sulla parte superiore del cilindro, ecc. Bettini stesso dice all'inizio che l'uso del Cilindro orario è ben noto e ricorda come viene utilizzato con lo gnomone mobile, ruotando attorno al bordo superiore della colonnetta, ecc. Ma qui è diverso. Brevemente, si assume lo gnomone come la dodicesima parte dell'ombra versa **EB**. Sulla linea **AK** si trova il parallelo di declinazione del Sole corrispondente alla data dell'osservazione e sia nell'esempio **H**, nel decimo grado dell'Ariete. Presa la lunghezza dello stilo **EB**, la si riporta a destra e a sinistra di **H**, trovando i punti **I** e **K**. L'altezza del Sole sia pari a 50° che sulla scala delle altezze **AM** corrisponde al punto **N**. Ponendo una riga su **N** e tirano una perpendicolare ad **AM**, si va a secare il parallelo **H** nel punto **L** che corrisponde alla lettura dell'ora italica 18.



Istituto e Museo di Storia della Scienza di Firenze

Curiosamente, sui bordi verticali esterni del disegno, Bettini scrive in italiano l'uso del cilindro, ma nel modo canonico: "*Fermisi lo stilo dritto fuori dal cilindro sopra il giorno del mese e poi si tenga contro il Sole di modo che l'ombra sua cada a piombo sul cilindro. Sia lungo lo stilo 12 parti d'ombra versa*".

Nella figura seguente Bettini illustra l'uso del cilindro orario che accoppiato con una "macchina oraria" di sua invenzione, crea uno strumento di simulazione oraria universale in cui è possibile conoscere tutti i sistemi orari. La macchina di destra è composta sostanzialmente da una base **CD**, un piano **EGFI** circolare su cui è descritto un orologio orizzontale con le ore temporarie (che egli chiama Romane o Giudaiche) e le sette curve di declinazione zodiacali, dotato di una bussola nel punto **I**. Detto piano è tagliato in **HP** per riportare un quadrante graduato che serve a regolare in latitudine l'asta di ferro mobile **MN** la quale deve essere più corta dell'altezza del cilindro orario **QB**. Essa getta l'ombra **NO** sul piano dell'orologio sottostante. Nel punto **S** dell'asta è saldata un'altra asta di ferro perpendicolare alla prima che regge il cerchio **MQTR** giacente nel piano equatoriale quando l'asta è regolata sulla latitudine del luogo. Sono aggiunte altre due aste curvate, **QV** e **XR** rese mobili da viti nei punti **Q** e **R**. Quando posizionata, la macchina getta l'ombra dell'asta sull'orologio inferiore e sul cerchio equinoziale, mostrando contemporaneamente l'ora temporaria e l'ora astronomica. Solo che lo stilo obliquo non può indicare l'ora temporaria con la sua lunghezza, ma solo per mezzo di un punto di proiezione corrispondente al vertice di un ipotetico ortostilo. Forse l'autore ha omesso nella figura tale punto di proiezione.
Usando contemporaneamente i due orologi, è possibile ottenere allo stesso tempo tutti e quattro i principali sistemi orari. Sul cilindro orario, che stavolta è utilizzato in modo classico con lo gnomone orizzontale che può ruotare attorno alla colonnetta, sono tracciate le ore Italiche e Babiloniche.

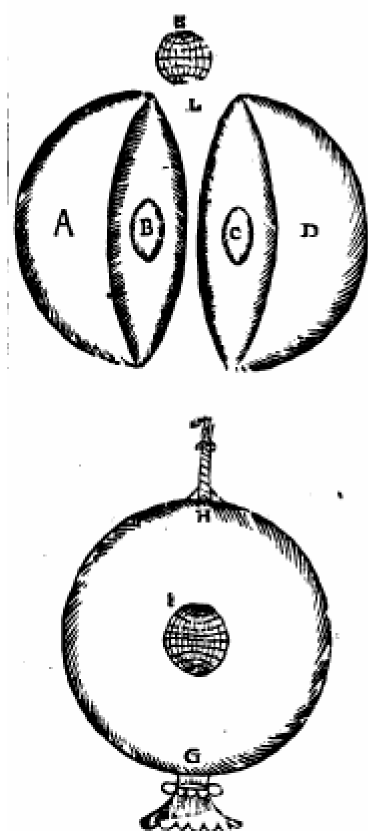


Istituto e Museo di Storia della Scienza di Firenze

La Mira horaria, una macchina oraria con il moto perpetuo!

L'ultimo paragrafo del nono libro dell'Apiaria è dedicato ad una macchina che fa parte della gnomonica "diottrica" e "catottrica" di cui Bettini dice essere ingegnoso maestro il padre Athanasius Kircher, riferendosi evidentemente alla "*Primitiae gnomonicae catoptricae*", pubblicata nel 1635, quando cioè Bettini aveva terminato il suo manoscritto ed avuto l'imprimatur dell'Inquisizione. Ciò significa che i due padri andarono quasi di pari passo sull'argomento, ma certamente Kircher dovette precederlo di qualche tempo visto che viene definito "l'inventore" di questa gnomonica, senza peraltro tenere conto del libro di Schonberger del 1622.

Qui però Bettini non tratta di orologi riflessi e rifratti, ma solo di questa curiosa "macchina oraria" che funzionando per mezzo dell'acqua e di appositi magneti, sembra che riuscisse a fare il moto perpetuo seguendo ininterrottamente, giorno e notte, la sfera celeste e quindi il corso del sole, indicando così anche le ore per mezzo dei circoli meridiani. Nelle immagini sotto si possono vedere due figure in è descritta una macchina simile da Kircher nella "Magia Horographica" dell'Ars Magna Lucis et Umbrae, ma pubblicata nel 1646. Bettini però ci dice che una macchina come quella che descrive era conservata presso il padre gesuita Silvestro Pietrasanta la quale era fatta sulla base degli studi di Francesco Lana.



Sopra, la macchina oraria come descritta da Kircher e a sinistra la *Mira Horaria* come riportata da Bettini. Rientra negli orologi solari a riflessione.

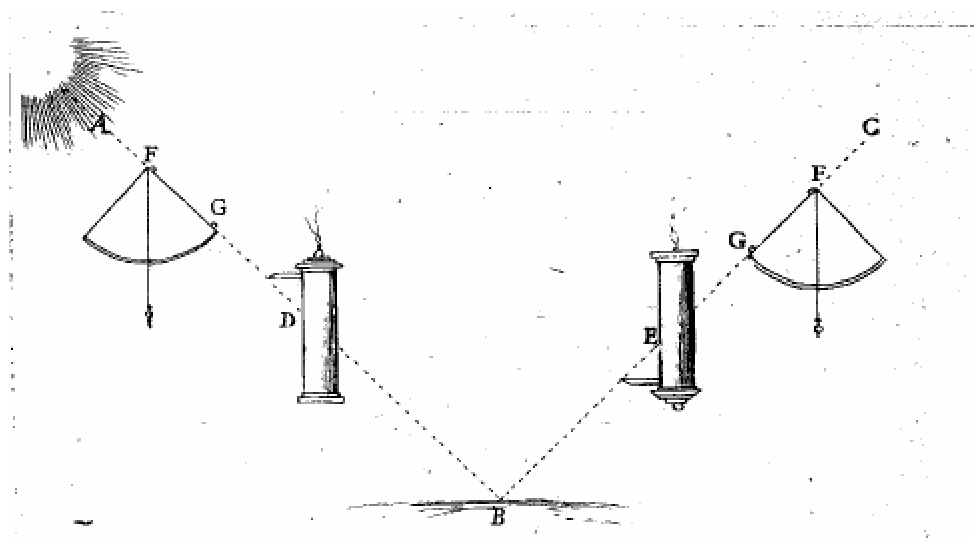


Istituto e Museo di Storia della Scienza di Firenze

Termina il nono libro dell'Apiaria, edizione pubblicata nel 1642, con una ultima curiosità dal titolo che sembra uno scioglilingua:

Horariorum non catoptricorum usus catoptricus.

Vale a dire come si possa utilizzare un orologio solare normale, non catottrico, in modo catottrico. Ancora, come si possa usare un normale cilindro orario, come se fosse un orologio a riflessione. Per spiegare questo "paradosso" basta dare un'occhiata al disegno che propone Bettini ed è tutto chiaro, almeno a livello intuitivo. Certo, pensare che uno si possa mettere a leggere l'ora su un cilindro orario capovolto, illuminato dal raggio di sole riflesso da uno specchio, è segno di una fervida immaginazione e spirito di ricerca delle soluzioni curiose e bizzarre, sempre però sottoposte alle leggi della natura.



Finis eſto Gnomonico huic Apiario à morali monito. Quidquid humani ingenij ſolertia inuenit, & machinatur circa gnomonica horaria, & inſtrumenta, caſſi laboris eſt, niſi Solis facies affulgeat. Pari ratione quidquid rerum ſatagit labor mortalium, quidquid appetit, quidquid aſſequitur honorum, opum, rerum fruendarum, vanitas vanitatum eſt, nullius pretij, ac vsùs, nullius veræ, ac ſolidæ fælicitatis, niſi diuinæ gratiæ fulgor alluceat, & animum ſuo afflatu hilaret, ac beet. Supponit ſolem Gnomonica Philoſophia vt ſit vſui, ſupponit Dei amicitiam humana omnis actio vt animo proſit.

La figura sopra è talmente esplicativa che non ha bisogno di essere commentata. Come si vede, anche il quadrante può essere utilizzato allo stesso scopo perché se puntato verso il sole in modo che questo sia nella visuale **FG** e **GF** con il raggio riflesso, il filo a piombo del quadrante indica l'altezza in gradi del Sole che con l'ausilio di un altro "strumento orario mobile", come il cilindro in piano visto prima, può essere utile per conoscere l'ora.

Non meno interessante, dal punto di vista letterario, è l'ultimo paragrafo (qui a sinistra), un monito morale gnomonico ed un elogio allo stesso tempo che non è facile trovare nei libri di gnomonica, specie quelli del XVII e XVIII secolo in cui l'arte degli orologi solari, diventa sempre più una "ricreazione matematica", un passatempo per gente colta.

Le ore Planetarie di Sacrobosco.

Devo confessare che l'analisi della gnomonica di Bettini, procede passo passo mentre contemporaneamente scrivo questo articolo. Così, quando pensavo che finito il testo dell'Apiarum nono, il libro fosse esaurito per il nostro interesse, trovo un'ultima sorpresa sfogliando l'Apirum decimo. Qui, nel trattare dell'armonia musicale e delle sue misteriose relazioni con l'armonia del cosmo, Bettini accenna alle ore Planetarie. Con mio stupore leggo che egli le definisce subito alla maniera di Oronzio Fineo, cioè le ore Planetarie sono quelle che ho trattato nel mio articolo specifico, ovvero le ore ineguali di Sacrobosco. Non solo, ma egli da la definizione esatta, proprio come io l'ho intesa da qualche decennio a questa parte, senza mai trovare fino ad ora una prova schiacciante come questa.

E' doveroso riportare tutto il testo integrale, evidenziando i passaggi che ci interessano.

III. Horæ, de quibus Dio, ac tabellæ hic eloquuntur (aduerte animum, Lector, ne erres in horis inæqualibus) sunt quas vocant inæquales Planetarias, quarum singulæ sunt spatiũ temporis, quo medietas vnius è duodecim signis Zodiaci oritur. Et quia non omnes medietates signorum æqualiter ascendunt, ideo sunt illæ horæ inter se inæquales tam duodecim diurnæ, quàm 12 nocturnæ; & præterea sunt etiam inæquales eiusmodi horæ comparatæ horis alterius diei, vel noctis.

Sunt deinde aliæ quædam horæ inæquales non platenariæ, de quibus hic non loquimur, quæ & antiquæ dictæ, quibus olim Romani, Græci, Hebræi, Caldæi, &c. vtebantur, diuiso singulorum arcuum diurnorũ spatio in 12 partes æquales, itemq; nocturno in totidem. Vnius tamen diei horæ erãt inæquales horis alterius diei item & noctis, &c.

Planetariarum igitur bis inæqualium horarum singulis suum antiqua superstitio Planetam dominatorem assignauit, ac diem vnumquemq; in hebdomada appellauit ab eo Planeta, qui, ex ordine in prædictis tradito, primæ horæ diei præsideret.

Le ore sono denominate "ineguali Planetarie" i singoli spazi di tempo costituiti dalla metà del sorgere di ciascuno dei dodici segni zodiacali. La traduzione non è letterale, ma il significato è quello che conferma la definizione di ore ineguali planetarie di Giovanni di Sacrobosco, così come confermate poi da Oronzio Fineo. Bettini prosegue confermando ogni singola parola sull'argomento, come il fatto che non tutti i segni, ascendendo sull'orizzonte, impiegano uno spazio temporale uguale tra loro e che ciò stabilisce che le ore ineguali planetarie possono essere ineguali tra loro non solo da stagione a stagione, ma anche nella durata di un singolo giorno o notte.

Finalmente la distinzione tra ore Ineguali e Planetarie

Il passo successivo è il più importante perché determina finalmente la tanto ricercata distinzione, che io propongo da anni, tra le ore ineguali Planetarie e le ore ineguali normali. Qui, ricorda il Bettini, che queste ultime (le ore ineguali non planetarie) furono quelle utilizzate da Romani, dai Greci, Ebrei, Caldei, ecc. e sono quelle che suddividono i singoli archi diurni e notturni in 12 parti uguali, indipendentemente dalle stagioni e quindi dalla durata degli stessi archi diurni. Poi, trovo la conferma alla mia definizione data negli articoli che ho scritto su questo argomento da alcuni anni e soprattutto in quello definitivo pubblicato nei primi mesi di quest'anno: le ore Planetarie devono soprattutto intendersi come l'antica superstizione di associare l'influsso, o dominio, che i singoli pianeti hanno in ciascuna ora ineguale (normale) del giorno. E sono le ore Planetarie normalmente usate dagli gnomonisti dal Rinascimento in poi e disegnate sugli orologi solari portatili e murali.

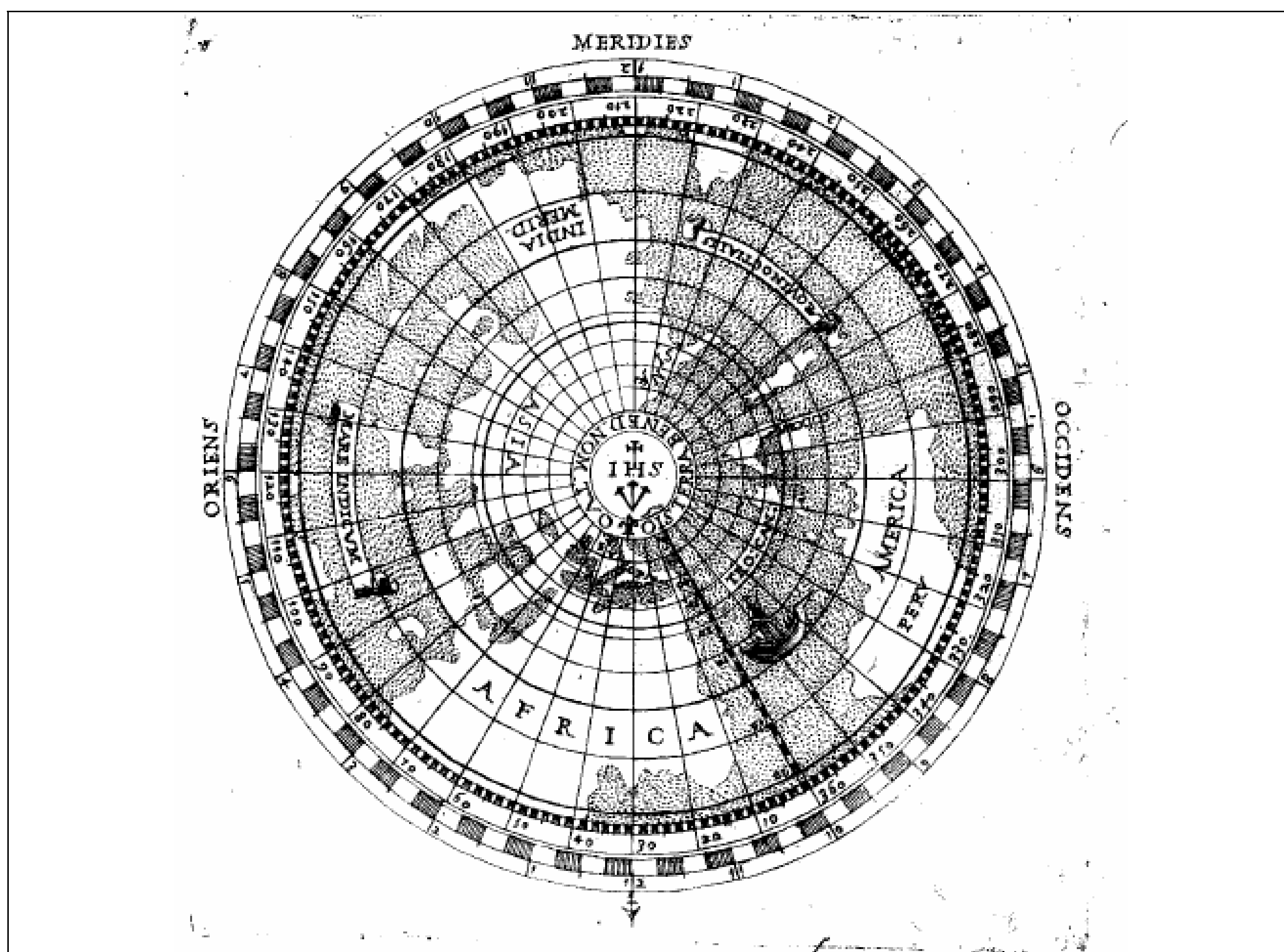
Il passo è fin troppo chiaro per essere soggetto di diverse ed oscure interpretazioni. C'è una distinzione profonda e di base tra i due tipi di ore ineguali: le ore ineguali antiche normali, quelle usate dai Greci e Romani come la dodicesima parte del giorno e della notte artificiale; quella delle ore ineguali Planetarie, come definite da Sacrobosco; infine le ore ineguali Planetarie come intese dagli gnomonisti ed utilizzate nella costruzione degli orologi solari, cioè come le ore ineguali normali a cui sono associate, per "*antiqua superstitio*", il dominio dei Pianeti nelle singole ore. A tal proposito, come si sa, viene utilizzata una apposita tabella del dominio dei pianeti che viene denominata "Tavola delle ore Planetarie", o da qualcun altro "Tavola dei Reggenti". Bettini ne ce propone una, quella "ingegnosa" proposta da Schonero nella sua Gnomonices della fine del XVI secolo e che viene qui riproposta nella figura sottostante.

Tabula Dominij Planetarum

Horę	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Dies 1	☉	♀	☿	☽	♄	♃	♂	☉	♀	☿	☽	♄	♃	♂	☉	♀	☿	☽	♄	♃	♂	☉	♀	☿
2	☽	♄	♃	♂	☉	♀	☿	☽	♄	♃	♂	☉	♀	☿	☽	♄	♃	♂	☉	♀	☿	☽	♄	♃
3	♂	☉	♀	☿	☽	♄	♃	♂	☉	♀	☿	☽	♄	♃	♂	☉	♀	☿	☽	♄	♃	♂	☉	♀
4	☿	☽	♄	♃	♂	☉	♀	☿	☽	♄	♃	♂	☉	♀	☿	☽	♄	♃	♂	☉	♀	☿	☽	♄
5	♃	♂	☉	♀	☿	☽	♄	♃	♂	☉	♀	☿	☽	♄	♃	♂	☉	♀	☿	☽	♄	♃	♂	☉
6	♀	☿	☽	♄	♃	♂	☉	♀	☿	☽	♄	♃	♂	☉	♀	☿	☽	♄	♃	♂	☉	♀	☿	☽
7	♄	♃	♂	☉	♀	☿	☽	♄	♃	♂	☉	♀	☿	☽	♄	♃	♂	☉	♀	☿	☽	♄	♃	♂

Aranea Cosmographica

A conclusione del libro, dopo la parte dedicata agli Elementi di Euclide, l’autore chiude con l’ultimo orologio universale derivato dalle prime “rotule” ideate da Gemma Frisio nel suo Speculum Cosmographicum con le tante varianti degli autori successivi. Prima di descrivere questo orologio geografico universale, Bettini si dilunga sulla storia e teoria dell’osservazione della retrocessione dell’ombra dell’orologio di Achaz relativo ad un orologio equinoziale. Quest’ultimo viene utilizzato come un comune orologio equinoziale con assostilo di lunghezza indefinita.



Aerarium Philosophiae Mathematicae



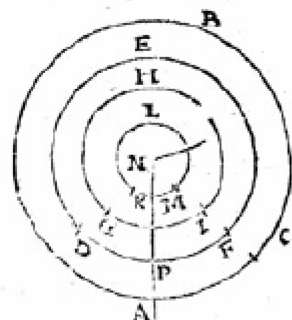
ÆRARIVM
PHILOSOPHIÆ
MATHEMATICÆ,
In quo
ELEMENTA
Philosophiæ Geometricæ
APPLICATA, ET ORNATA

AC

TOMVS PRIMVS
in tres partes distributus,
& cum Indicibus sexdecim.

AVTHORE
MARIO BETTINO BONONIENSI E SOCIET. IESV

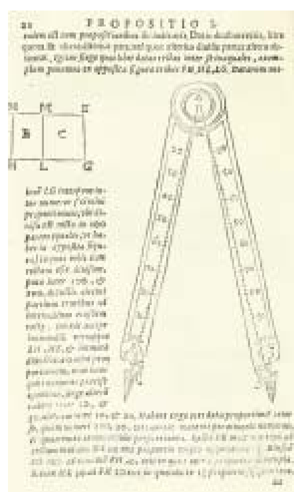
Anno Domini MDCXLVII.

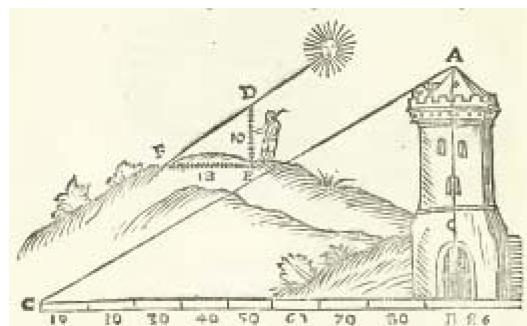


La seconda opera di Mario Bettini che contiene cose gnomoniche interessanti è l'*Aerarium philosophiae mathematicae in quo elementa philosophiae geometricae applicata et ornata usibus eximijs in omni scientiarum*, pubblicato a Bologna per la prima volta nel 1647. E' un librone di 1100 pagine di cui la prima parte è ancora una sorta di commentario agli elementi di Euclide, in cui però, proprio come applicazione di un postulato geometrico di Euclide sul tracciamento di una linea retta per mezzo una unica apertura di compasso, Bettini propone la designazione della linea meridiana.
E' il famoso metodo detto "delle altezze corrispondenti" (terza figura sopra a destra).

La seconda parte è anche dedicata ad operazioni geometriche con le varie applicazioni geodetiche, militari, astronomiche, ecc. e solo alla fine di questa seconda parte viene aggiunta una sezione gnomonica di nostro interesse che è molto curiosa, tanto che l'autore stesso la definisce "Exodia Horaria". *Exodia* viene da *exodium*, cioè esodio che era una specie di farsa recitata dopo la rappresentazione di un dramma per cui può essere ragionevolmente tradotta in "Farsa della gnomonica", cioè vale a dire "gnomonica curiosa", per sorridere che, come vedremo, è fatta appunto non di regole gnomoniche alla pari di un trattato canonico, ma di cose gnomoniche curiose.

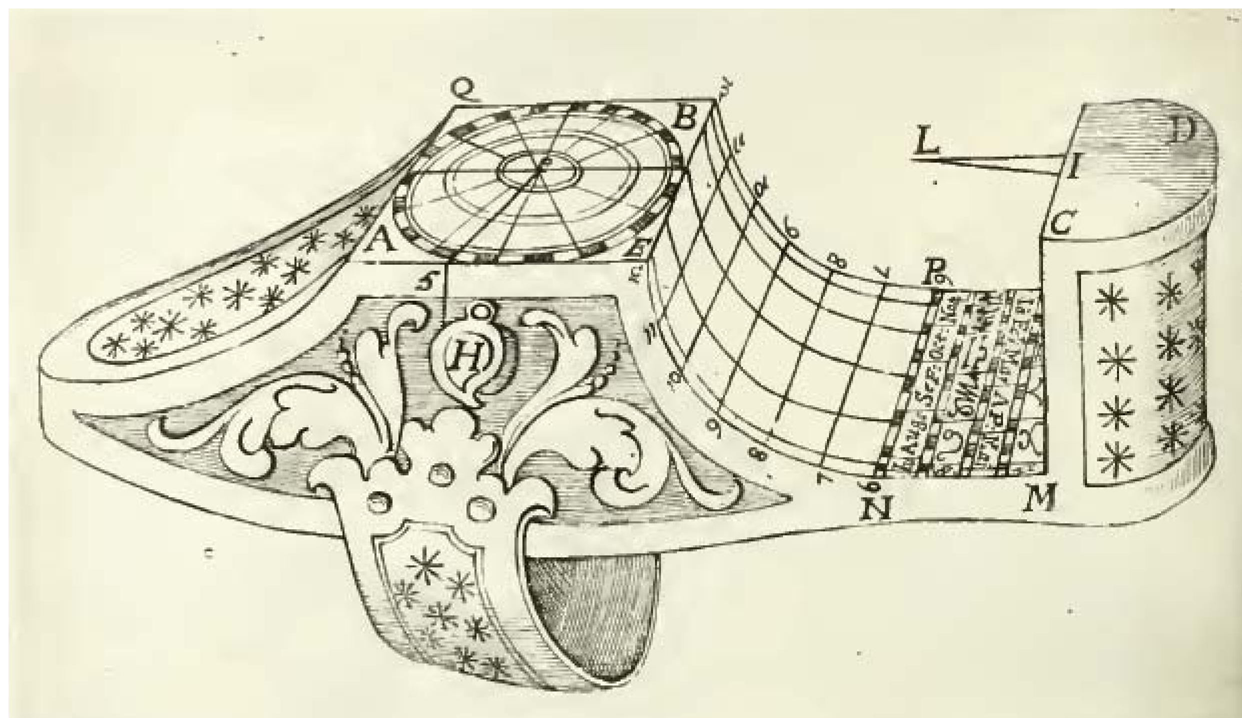



PROPOSITIO



Il Sandalo gnomonico

Le figure che seguono possono considerarsi una grande rarità nella letteratura gnomonica. Fino ad oggi se ne conosceva soltanto una, certamente non bella come queste, pubblicata da Oddi Muzio nel suo libro *De gli Horologi Solari*, Venezia 1638, cioè esattamente dieci anni prima che fosse pubblicato l'Aerarium di Bettini. Attualmente non si conoscono altre incisioni o figure come queste nei libri, se non un più unico che raro esemplare arrivato fino a noi, ma non è un pezzo antico. Si tratta di un sandalo realizzato nel XX° secolo da un certo R. Walden (che così si firma) sulla cui suola ha riportato un tracciato orario e calendariale. Il piccolo manufatto, 32 cm lungo, è conservato nel Museo di Storia della Scienza di Oxford e lo si può vedere nelle due immagini sotto riportate. Evidentemente si tratta di una idea realizzata sulla base dell'immagine proposta da Oddi Muzio, considerato che il sandalo realizzato è molto simile a quello disegnato da Oddi. Ora, entrambi gli autori, trattando di questo strano orologio solare, non dicono nulla a riguardo di un probabile inventore, artigiano o matematico che abbia pensato di ricavare un siffatto strumento sullo scalvo di uno zoccolo.



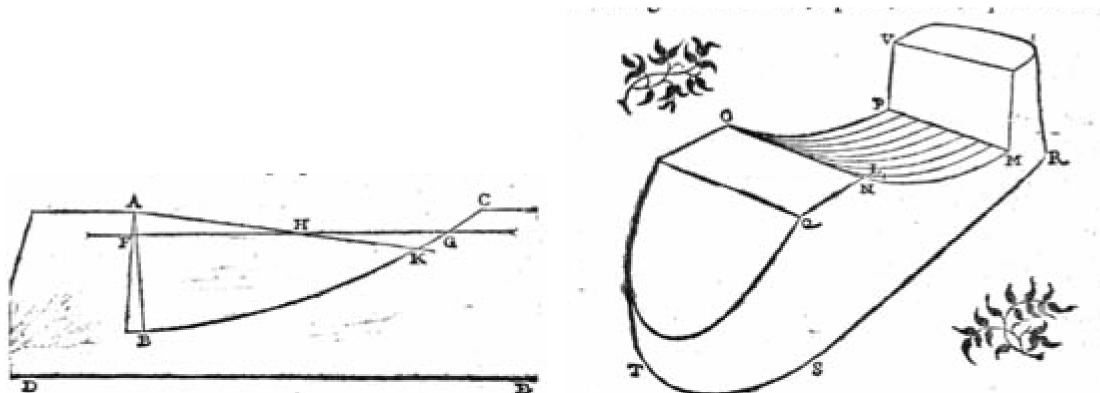
Il sandalo gnomonico di Mauro Bettini
Sotto IL sandalo in legno realizzato da R Walden e conservato nel Museo di Storia della Scienza di Oxford.



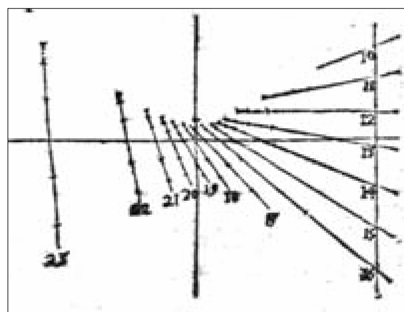


Da come ne scrive Oddi, sembrerebbe quasi una sua idea e, d'altra parte, non si conoscono disegni o esemplari anteriori al suo. Per la curiosità dell'argomento e per integrare bene le pagine di Bettini, ritengo utile riportare qui alcune parti del testo di Oddi relative a questo strumento. Egli lo descrive alla fine della sezione dedicata agli orologi "mobili", cioè portatili:

> "Benchè di questi Horologi mobili ne siano fin'hora state proposte tante varie forme, che per darci a divedere con quale maniera si abbia da procedere per farne altri infiniti; possino essere giudicate soverchie, non che à bastanza: la curiosità non dimeno d'uno fatto in quella parte d'uno zoccolo, che sta verso terra, mentre si porta in piede, mi fa violenza di scrivere due parole di così capricciosa bizzarria, ove il calcagno serve di gnomone, e lo scalvo per letto delle linee horarie".



Qui sopra si vede lo "zoccolo" come disegnato da Oddi Muzio



A sinistra si vede lo schema di orologio orizzontale che Oddi Muzio utilizza per riportare materialmente sullo zoccolo, le distanze dei punti orari delle ore italiche dal luogo dello gnomone (ortostilo) al termine solstiziale della linea oraria voluta. Come vedremo in seguito, è evidente che sia la tipologia del sandalo, sia la sua concezione teorico-pratica è diversa in Oddi Muzio e in Bettini, il che potrebbe significare che essi l'abbiano intesa in modi diversi e indipendenti, ma il libro di Oddi era troppo famoso all'epoca di Bettini perché questi non l'abbia visto e studiato. Ciò porta a credere quindi che Bettini abbia visto il sandalo di Oddi e l'abbia modificato nella sua versione senza nulla dire sul suo autore.

Comunque, sulla base dei disegni effettuati dai due autori, possiamo ipotizzare le seguenti differenze:

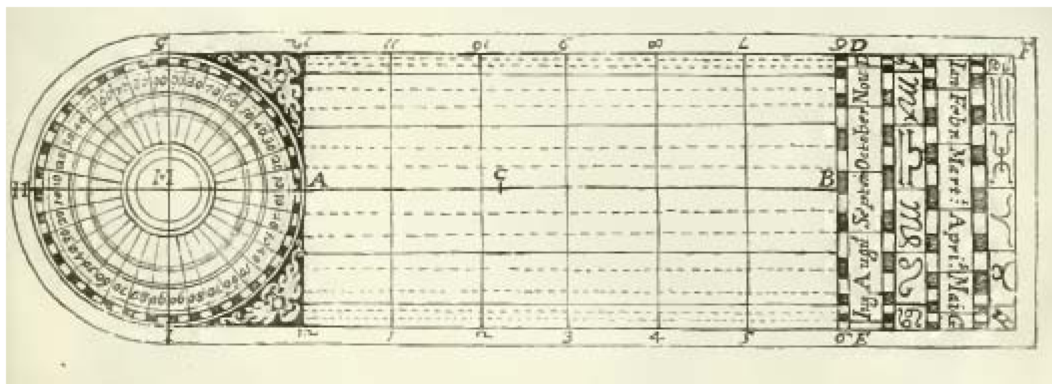
Differenze	Oddi Muzio	Mauro Bettini
Denominazione	Zoccolo	Sandalo
Tipologia	Orologio d'altezza locale	Orologio d'altezza universale
Stile	A pantofola	Sandalo stile cinese
Sistema orario	Italico	Astronomico
Gnomone	Bordo del tacco	Lamina metallica ortostilo
Indicazioni zodiacali	No	Si
Altri particolari	No	Quadrante graduato per la regolazione in latitudine

Essendo un orologio "locale", cioè valido solo per la latitudine del luogo dove si adopera, l'orologio "zoccolo" di Oddi Muzio si usa ponendo il piano, diciamo così, della suola in orizzontale (parallelo all'orizzonte) e lo scalvo orientato verso il sole fino a fare in modo che la sua ombra vada a cadere sul punto più vicino alla linea del parallelo di declinazione solare

relativo al giorno dell'osservazione e, in quel punto, dove "*la linea che è tra l'ombra e il chiaro, si conoscerà molto bene che hora sia*", come ci dice lo stesso Oddi.

L'uso, invece, del sandalo gnomonico di Bettini è un tantino diverso, essendo un orologio portatile reso "universale", cioè adattabile a qualsiasi latitudine e con lo gnomone diverso da quello che è il bordo interno del tacco del sandalo. Ma vediamo in dettaglio come è composto il sandalo di Bettini.

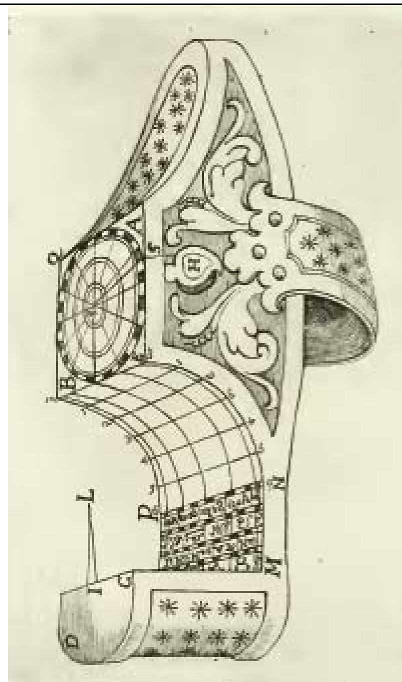
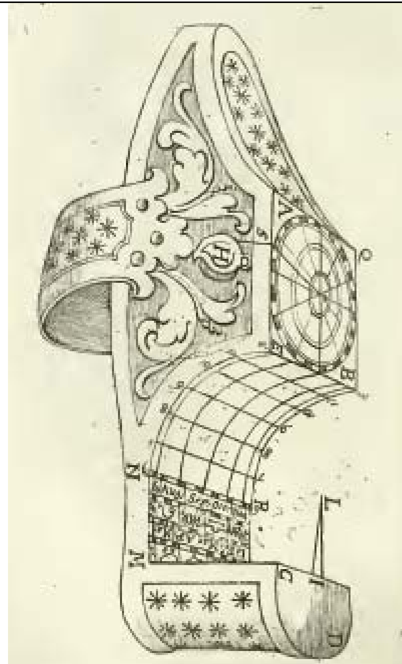
Le superfici piane **AB CD** sono di metallo, o argento probabilmente perché si possano incidere. Poi aggiunge che altri preferiscono addirittura farlo in lamina d'oro, o d'avorio, gemma con l'incisione della gloria di opere mirabili e scegliendo colori vivaci diversi come le varietà dei colori degli occhi suggeriscono. Parlando del sandolo gnomonico in questo modo, Bettini ci dice, involontariamente, che questo tipo di orologio solare non era poi così raro forse ai suoi tempi e possiamo pensare che a causa solo della sua natura molto delicata probabilmente non ci sono pervenuti esemplari.
Il piano **AB** porta inciso il circolo **AEB** che è suddiviso in 4 quadranti a loro volta suddivisi in 90 gradi ciascuno. Dal centro **F** pende un filo a perpendicolo **FGH** che si stacca da **P** e si chiude sotto la lamella **H**. Nel piano **CD**, lo gnomone **LI** è lungo quanto la parte **MN**. La linea curva **NE** è il quadrante di un circolo di cui **L**, vertice dello gnomone, è il centro. Le linee orarie delle 7, 8, ecc. sono le linee rette che attraversano le linee dei paralleli di declinazione del sole corrispondenti ai segni zodiacali. Tutte sono comprese sulla superficie semicilindrica **BEPN**.



Qui sopra, il sandalo gnomonico di Bettini visto in piano

L'uso del sandalo gnomonico di Bettini è molto più complesso rispetto a quello di Oddi Muzio. Infatti, essendo quello di Bettini "universale", bisogna fare più operazioni. L'impostazione è la stessa, nel senso che il sandalo va orientato con lo scalvo in direzione del sole in modo che la superficie dove sono incise le linee orarie e le linee di declinazione sia sempre illuminata, ma le posizioni sono diverse. Il sandalo di Oddi veniva posizione parallelamente all'orizzonte, cioè in modo orizzontale, mentre questo di Bettini si deve orientare in 4 diverse posizioni, per una sola latitudine, per conoscere le ore antimeridiane e pomeridiane. In questo caso, la superficie oraria è una quarta parte di un circolo. Il sandalo deve essere orientato con lo scalvo verso il sole ma in posizione eretta, dritta o inversa, cioè ora con il tacco in basso, ora con il tacco in alto a seconda se si deve leggere l'ora antimeridiana con il sole in austro o l'ora antimeridiana con il sole boreale. Lo stesso si ripete con le ore pomeridiane, secondo lo schema che si può vedere riassunto nella tabella che segue.
Il sandalo poi, una volta messo in posizione eretta, deve essere piegato obliquamente fino a che il filo a perpendicolo non segni, sulla relativa quarta di cerchio graduata del circolo **AB**, il grado della latitudine del luogo. E' solo per questo che lo strumento è definito universale. In tal modo, la superficie oraria **EPN** diventa la quarta parte di un cilindro che, per mezzo del filo a piombo, viene orientato secondo l'asse di rotazione terrestre, diventato così la metà di un semplice orologio cilindrico equatoriale con doppia numerazione da 1 a 6 per le ore antimeridiane e pomeridiane, di cui il vertice dello stilo occupa il centro del cilindro.

Nella figura sotto si vedono i vari orientamenti che deve prendere il sandalo per indicare l'ora ad una data latitudine. Nei disegni non è possibile vedere l'inclinazione del sandalo relativa alla latitudine.

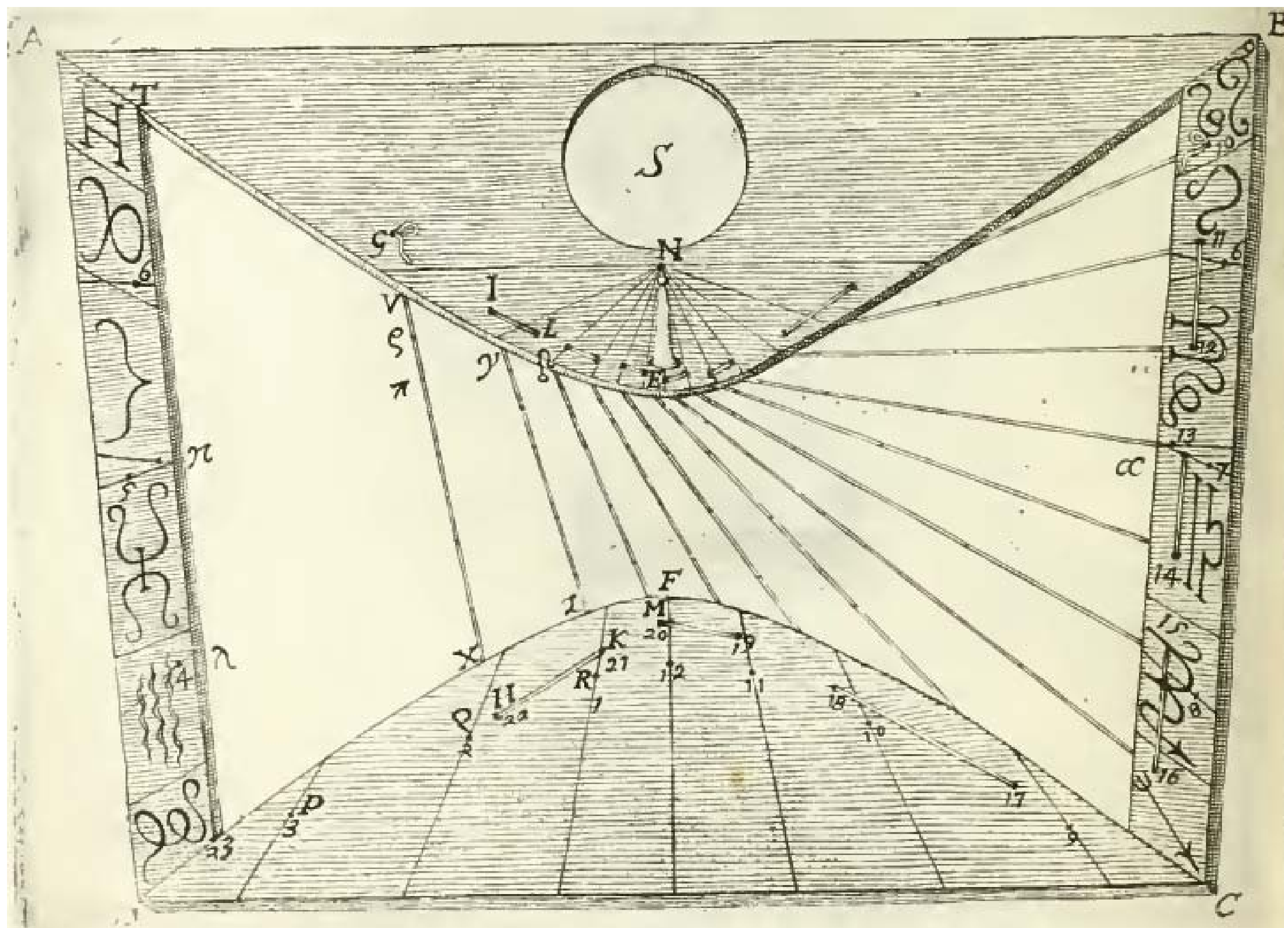
 Per la lettura delle ore antimeridiane con il sole in Austro	 Per la settura delle ore antimeridiane con il sole in Borea
 Per la lettura delle ore pomeridiane con il sole in austro	 Per la lettura delle ore pomeridiane con il sole in borea

Le ultime frasi di Bettini relative al sandalo gnomonico, che possono considerarsi una vera rarità se si considera che gli autori di gnomonica quasi mai si sono concessi a commenti personali al di fuori delle sole spiegazioni tecniche, dimostrano che anche ai suoi tempi questa "invenzione" era una cosa dal sapore "esotico". Una prova di come sia possibile fondere i fondamenti della scienza astronomica con le esigenze e gli usi comuni della vita civile, utilizzando una cosa così "nascosta" come lo scalvo di un sandalo.

Habes, mi Tyro, Gnomonicæ Philosophiæ Sandalium horarium vniuersale non indignũ, quo etiam Regina quælibet donetur, certe cui regia cedant Sandalia. Ac vide quãti facienda sit ea scientia, quæ sub pedibus Cælos, & sydera gestat; cuius vel in Sandalio tantum latet Philosophiæ, atque vsuum Astronomicorum pro Ciuili vita, & humanis actionibus per certã temporum spatia ritè ordinandis.

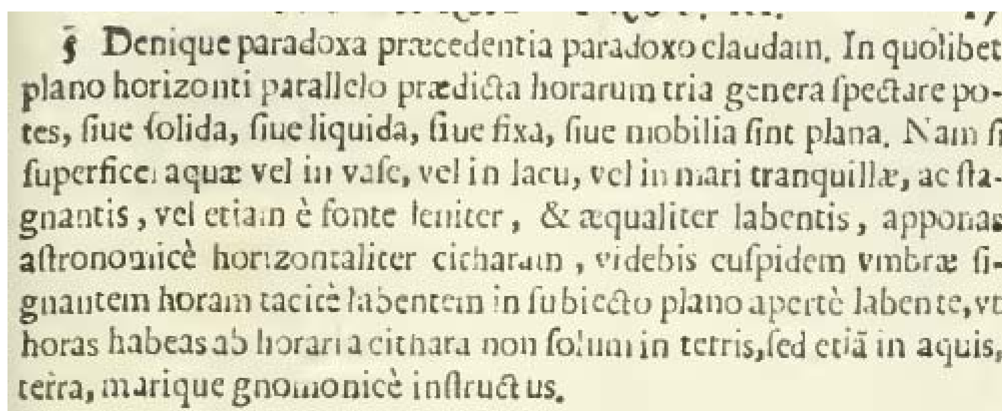
La Cetra Oraria, un orologio solare suonante!

La "chitarae Horariae", è forse il più bizzarro tra gli strumenti gnomonici proposti da Bettini. Si tratta in effetti di un accostamento gnomonico al libro dedicato alla musica. E' uno strumento da scoprire nei dettagli, ma dietro una analisi adeguata del testo latino. Per sommi capi, possiamo intuire dalle immagini che si tratta di un orologio solare trasformato in una "chitarra" oraria, o meglio "cetra oraria". Su una lamina sottile di metallo, o di "oricalco", come propone l'autore, una misteriosa fusione metallica, un qualcosa simile a stagno o rame, viene descritto un orologio solare orizzontale per una data latitudine. Viene inciso un orologio orizzontale ed un orologio ad ore italiche le cui ore sono delimitate dalle due curve solstiziali. Poi viene intagliato seguendo la linea oraria italica delle 23 fino al lato opposto. Si praticano dei fori, seguendo l'andamento delle due curve solstiziali, in corrispondenza dei prolungamenti delle ore italiche in modo che in ogni foro possa passarci un filo. Saranno proprio questi fili, poi, a dare l'aspetto allo strumento di una cetra oraria che a seconda del numero di fili l'autore denomina in vari modi, come Heptachordum, Penthacordum, ecc. Evidentemente perché forse in qualche modo si poteva sentire anche il suono di ciascuna corda tesa.



Una volta congiunti i fili, o corde, da un punto all'altro dei fori praticati, ed orientato lo strumento con l'aiuto dell'ago magnetico, cioè della bussola posta nel grande foro praticato in **S** nella figura, l'autore assicura che non solo è possibile conoscere l'ora, ma se ne può sentire anche il suono: "***…horas non solum videre, sed pulsare et audire***". Quali recondite fantasie aleggiavano negli spiriti bizzarri dei nostri predecessori gnomonisti!
Per via di questi fili, è possibile proiettare le ore Italiche o Babiloniche descrivendo "infiniti" altri orologi solari italici e Babilonici, "vedendo ed ascoltando" il suono delle ore; per mezzo poi di un solo filo, legato al vertice dell'ortostilo **EN**, è possibile descrivere in modo molto semplice tutte le linee orarie dell'orologio astronomico.

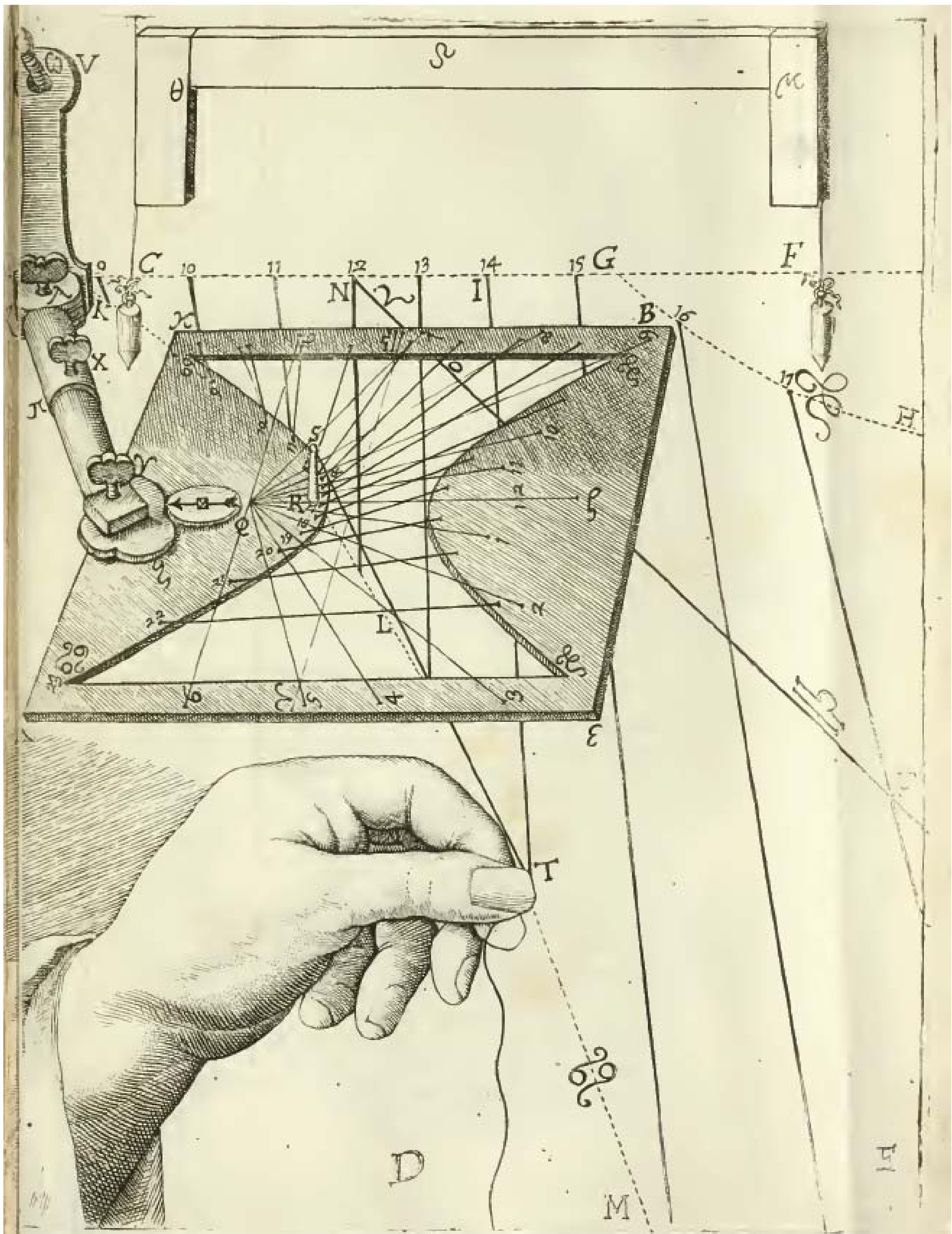
Il testo relativo alle possibilità applicative che questa cetra oraria può avere nella gnomonica, lo riporto per intero perché mi sembra a dir poco curioso. Sembra che con esso si possa descrivere i tre sistemi orari principali oltre che su altri piani, anche in acqua e… in un mare calmo…!



§ Denique paradoxa præcedentia paradoxo claudam. In quolibet plano horizonti parallelo prædicta horarum tria genera spectare potes, siue solida, siue liquida, siue fixa, siue mobilia sint plana. Nam si superficiei aquæ vel in vase, vel in lacu, vel in mari tranquillæ, ac stagnantis, vel etiam è fonte leniter, & æqualiter labentis, apponas astronomicè horizontaliter citharam, videbis cuspidem vmbræ signantem horam tacitè labentem in subiecto plano apertè labente, vt horas habeas ab horaria cithara non solum in terris, sed etiã in aquis, terra, marique gnomonicè instructus.

Fino ad ora, lo strumento è costruito per descrivere altri orologi orizzontali ad ore astronomiche, italiche e babiloniche ed anche nelle situazioni di piani in cui la cetra oraria può proiettare le ore, come si legge nel passo predetto. Bettini aveva evidentemente cercato un modo di realizzare lo stesso strumento per descrivere anche gli orologi solari murali, declinanti o inclinati, ma pensava alla difficoltà di "intagliare" le singole linee orarie (*erat operae prolixioris*), così seguì il suggerimento di un suo collega, certo Bartolomeo Provalia, che ebbe l'idea di intagliare la superficie dello strumento lungo le linee dei tropici e delle ore estreme italiche, in modo da ricavare uno spazio vuoto e quindi di collegare gli estremi orari per mezzo di fili, ottenendo così una vera "chitarra" oraria, mancante solo di cassa acustica!

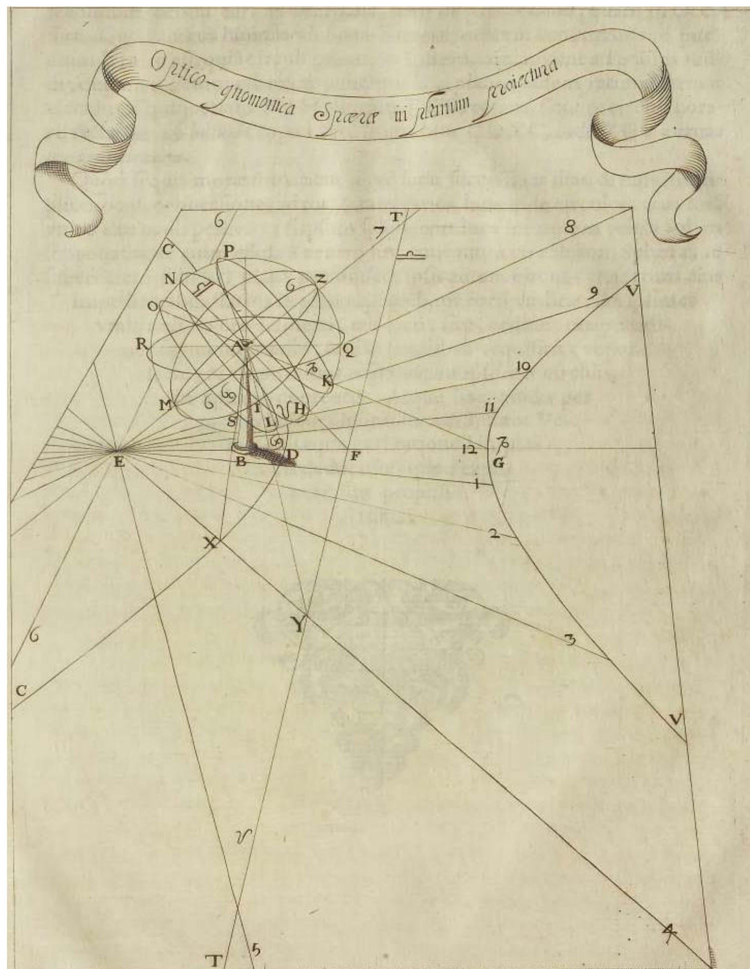
Il risultato è lo spettacolare strumento che si vede nella figura della pagina successiva dove si rende evidente l'intaglio e l'asportazione di tutta la parte compresa tra le curve dei solstizi fino ai limiti delle ore estreme italiche e babiloniche. Seguendo l'andamento delle curve diurne sono praticati i fori, come nel modo precedente, da cui vengono sottesi i fili orari delle ore astronomiche e italiche che si dipartono dal centro orario **Q**. La pratica operazione prevede la "proiezione", o riporto, una volta stazionato ed orientato lo strumento nel modo corretto, delle linee orarie per mezzo di un filo che viene legato alla punta dell'ortostilo **RS**. Nella figura si vede la mano che guida il filo uscente da **S** e che viene fatto passare per il punto di intersezione della linea italica delle 14 con la relativa curva diurna del solstizio estivo. Il filo si va a proiettare sul piano del muro verticale che è molto declinante ad oriente, nel punto **T** che è un punto e termine dell'ora italica 14 sulla curva del solstizio estivo dell'orologio sul muro. Bisognerebbe provare a costruire uno strumento del genere per potersi esprimere sulla possibile precisione che si riesce ad ottenere con una simile pratica. Con uno strumento troppo piccolo si potrebbe avere una grossolana incertezza forse nel determinare il punto sul muro, a causa di un allineamento troppo corto del filo tra il vertice dell'ortostilo ed il punto di allineamento della linea oraria che si troverebbe troppo vicino e lascerebbe un filo troppo lungo fino ad arrivare al muro per determinare una buona precisione. Uno strumento di dimensioni abbastanza grandi potrebbe soddisfare con una precisione maggiore.



La “Cetra oraria” modificata come dall’idea di Bartolomeo Provalia e descritta da Bettini.
Qui la mano tende il filo legato al vertice dell’ortostilo **S** che viene fatto passare per il punto di intersezione della linea oraria italica con la curva diurna del solstizio estivo. Il prolungamento

del filo fa ad incontrare il muro nel rispettivo punto dell'orologio declinante ortivo murale. Lo strumento, disposto parallelo all'orizzonte, viene orientato per mezzo di appositi braccioli.
La descrizione di un orologio solare su un piano prevede la regola generale della proiezione gnomonica degli elementi della sfera celeste sul piano stesso. Nella figura qui sotto, tratta dall'opera "*Perspectiva Horaria*" del padre Emanuele Maignan del 1648, si vede molto chiaramente in modo grafico questo concetto.

Il concetto di base degli strumenti gnomonici



L'orologio solare è il risultato della proiezione gnomonica (su un piano) sul vertice dell'ortostilo, che è anche il vertice dell'assostilo, dei circoli orari della sfera celeste. Nella figura, il centro della sfera celeste coincide con il vertice dell'ortostilo e, come si sa, la proiezione ortogonale dei circoli massimi della sfera sul piano sono delle linee rette e queste sono le linee orarie astronomiche italiche e babiloniche, mentre la proiezione ortogonale dei circoli minori (circoli non passanti per i poli della sfera), sono delle curve, i paralleli di declinazione compresi tra i due tropici, ad esclusione della linea equinoziale che è un cerchio massimo e quindi una retta.

Gli strumenti gnomonici per descrivere gli orologi solari sui piani si basano sullo stesso concetto. La chitarra oraria di Bettini si orienta parallelamente al piano dell'orizzonte diventando così un orologio orizzontale da cui ricavarne uno verticale murale. Al posto della sfera ci sono le linee orarie già disegnate che vengono proiettate per mezzo di un filo sul muro. Il filo, come è evidente, parte dal vertice dell'ortostilo o dell'assostilo, passa per i punti orari e delle curve di declinazione e fa a proiettare l'elemento sul muro. Si vede bene la similitudine di funzionamento se si confronta il disegno di Maignan con quello di Bettini. Lo strumento deve sempre essere orientato parallelamente all'orizzonte e in modo che la linea meridiana coincida sempre con la vera linea meridiana. Per questo, nel secondo caso, lo strumento di Bettini necessita dei braccioli di orientamento.

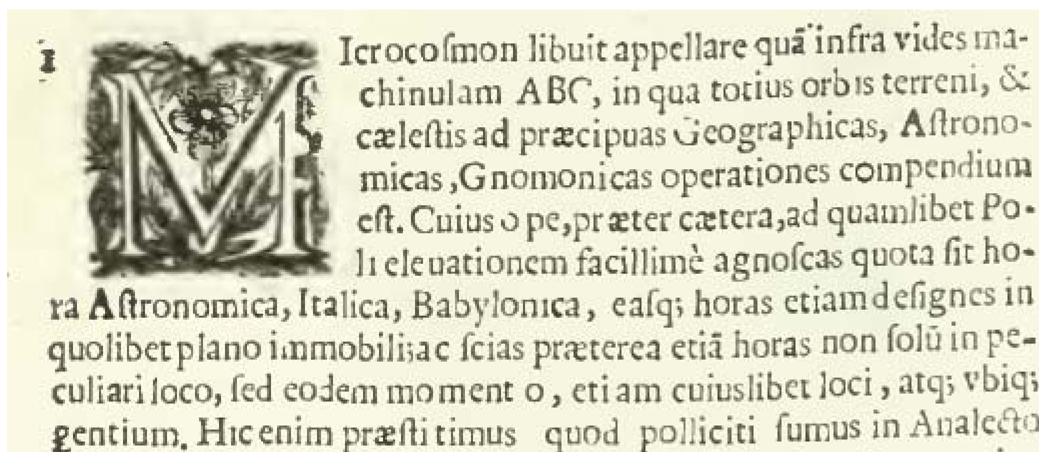
Se la figura di Maignan fosse intesa come uno strumento gnomonico, cioè che il piano orario sia una tavola di legno o altro materiale, che vi fosse praticato l'intaglio lungo le linee dei tropici e dal centro orario fossero collegati i "fili orari" delle ore astronomiche e italiche (che qui mancano), si potrebbe pensare che la sfera celeste ivi rappresentata fosse fatta di anelli metallici sottili e si può bene immaginare una mano che sottende il filo legato al vertice dell'ortostilo che viene fatto passare per i punti di intersezione delle linee orarie con le curve diurne fino ad incontrare la superficie del muro. In questo caso, la tavola con l'orologio e la sfera celeste rappresentata nel disegno di Maignan diventerebbe uno strumento gnomonico del tutto simile a quello descritto da Bettini.

Anche la sola sfera celeste intesa nello stesso modo, diventa un egregio strumento gnomonico per disegnare orologi solare. Lo ha insegnato anche l'astronomo Giuliano Romano nell'articolo

"*Un semplice apparecchio per il tracciamento di quadranti solari*", pubblicato in *Giornale di Astronomia*, Pisa, n. 1, 1988.

Il Microcosmo, un orologio solare cosmico-geografico universale.

Forse nelle parole latine Bettini può essere più chiaro di una mia traduzione sommaria, anche perché non credo sia facile definire questo strumento, almeno come lo intende l'autore:


1 MIcrocoſmon libuit appellare quā infra vides machinulam ABC, in qua totius orbis terreni, & cæleſtis ad præcipuas Geographicas, Aſtronomicas, Gnomonicas operationes compendium eſt. Cuius ope, præter cætera, ad quamlibet Poli eleuationem facillimè agnoſcas quota ſit hora Aſtronomica, Italica, Babylonica, eaſq; horas etiam deſignes in quolibet plano immobili; ac ſcias præterea etiā horas non ſolū in peculiari loco, ſed eodem momento, etiam cuiuslibet loci, atq; vbiq; gentium. Hic enim præſtitimus quod polliciti ſumus in Analecto

Un compendio, quindi, come ne sono stati fatti tanti dal Basso medioevo alla fine della Rinascenza. Uno strumento che vuole riassumere i concetti e le possibilità di una macchina gnomonica per costruire orologi solari e, al tempo stesso, un orologio geografico universale. Si può conoscere con esso, a qualsiasi latitudine, l'ora Astronomica, Italica e Babilonica, si può disegnare un orologio su qualsiasi piano immobile e si può conoscere non solo l'ora di un particolare luogo, ma nello stesso tempo, l'ora di altri paesi, nell'usanza di altri popoli.
Di orologi geografici universali murali se ne sono visti diversi esempi in varie località italiane e forse d'Europa. Non erano rari, specie a partire dalla fine del'800. Forse però ai tempi di Bettini non erano molto in uso, o forse ci troviamo davanti ad uno dei primi esempi di orologio geografico universale, specie se concepito come "compendium", cioè come strumento per costruire orologi solari.
La costruzione e l'uso di questo strumento è "amabile" per dirla come Bettini, perché non c'è alcuna difficoltà nel disegnarla in quanto non richiede particolari cognizioni gnomoniche, geografiche o matematiche. Basta disegnare dei circoli con il compasso, suddividerli in gradi, tracciare i loro diametri e i paralleli con una unica operazione di compasso.

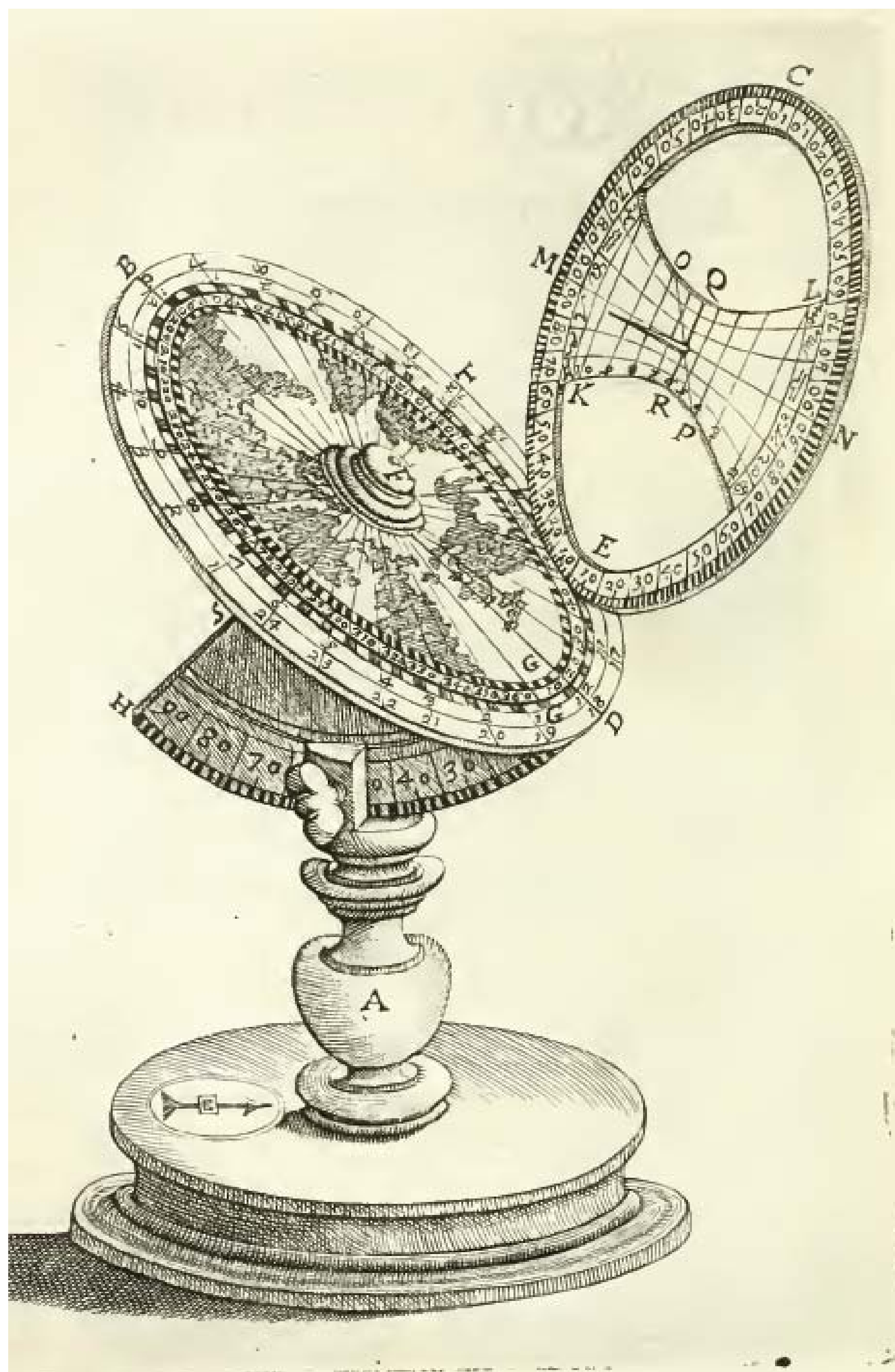
Descrizione

Il disegno del "Microcosmo" riportato nella figura che segue è abbastanza esplicito ed intuitivo da capire. Il circolo **BTD** è la proiezione in piano dell'Equatore, elevato del complemento della latitudine del luogo per mezzo del quadrante graduato **HS** posto sul piedistallo **A**. In **F** si incontra l'asse di rotazione terrestre, mentre **BD** rappresenta la linea meridiana. Il circolo alto **CMEN** invece contiene la proiezione in piano delle curve di declinazione zodiacali e i circoli orari che sono delle rette nel piano **KL**. Cioè in pratica si tratta di un orologio polare con le sette curve diurne di declinazione solare e le ore astronomiche. La zona esterna del circolo **BTD**, che contiene numeri e gradi orari, è fissa. Mentre la parte interna dello stesso circolo che contiene il numero di meridiani e i semidiametri, è mobile intorno al centro, o polo **F**. Sull'estremità dei circolo, in corrispondenza dei meridiani, sono praticati dei fori in cui si può fissare ad angoli retti il circolo **CMEN**. Dalla figura sembra di essere soggiogati dall'effetto ottico che detto circolo possa ruotare, come su un piccolo binario, sul sottostante circolo **MTN**, mentre invece viene fissato per mezzo dei fori in corrispondenza dei meridiani nel punto **E** che corrisponde all'ora sesta astronomica dell'orologio polare sul piano **KL**.

Uso

Lo strumento va orientato elevandolo del complemento della latitudine del luogo in cui si opera e in modo quindi che il circolo **BTD** giace nel piano dell'equatore e la linea **BD** sia nel piano della linea meridiana. Poi si fissa il circolo verticale **CMEN** in corrispondenza del foro sul meridiano del luogo dell'osservazione in cui si vuole conoscere l'ora. Nell'esempio della figura è

stato scelto la longitudine geografica di 40° corrispondente, dice l'autore, a tre località della Sicilia: Catania, Messina e Siracusa che al giorno d'oggi corrispondono approssimativamente a 15 gradi di longitudine est da Greenwich, questo perché il meridiano di riferimento ai tempi di Bettini era diverso[8]. La linea **OP** sul quadrante **KL**, disegnata per mezzo di una riga dal centro dell'ortostilo fino allo stesso grado (40°) da **C** verso **M**, è la linea di riferimento dell'orizzonte occiduo, per l'ora italica 24. Per conoscere l'ora astronomica sul circolo **BTDS**, si muove il circolo **CMEN** fino a quando l'ombra del vertice dell'ortostilo tocca la linea intermedia **QR** e sotto **E** si legge l'ora che nell'esempio della figura sono le 10 del mattino.



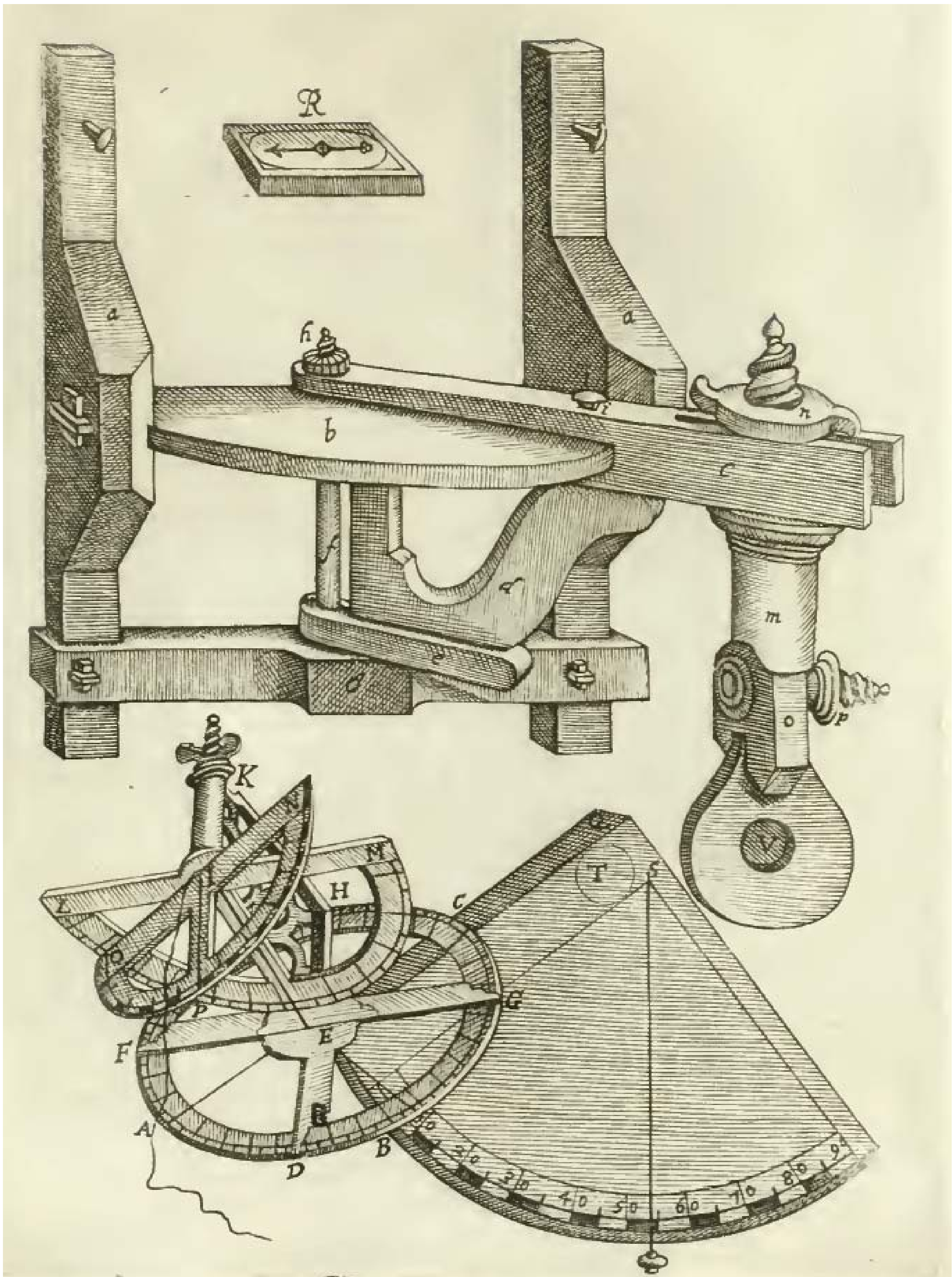
[8] Già dai tempi di Galileo il meridiano di riferimento (primo meridiano) per la misura delle longitudini era quello che passa per le isole Canarie. E' lo stesso Galileo che lo testimonia in una sua opera: *La longitudine non è altro che un arco dell'equinozziale, preso tra il meridiano di un loco ed il meridiano di un altro: e perché comunemente da' cosmografi si è stabilito che il meridiano che passa per le isole Canarie sia il primo meridiano, pertanto si dirà che la longitudine di un loco sia l'arco dell'equinozziale che viene intrapreso tra il meridiano che passa per le isole Canarie ed il meridiano del loco.*

L'Arco gnomonico, uno strumento sconosciuto del padre gesuita Cristoforo Grienberg.

L'ultimo esodio gnomonico descritto da Bettini è uno strumento inventato dal padre gesuita Cristoforo Grienberg, o anche Gruenberg, matematico e astronomo austriaco il cui nome è legato anche ad un cratere lunare. Egli morì nel 1636, quando Bettini aveva da poco redatto il manoscritto del suo primo libro dell'Apiaria in cui scrive del suo collega: "*Ho beneficiato, mio Lettore, della mente e dell'industria di un uomo dottissimo ed estremamente umile, padre Grienberger il quale, nonostante abbia lui stesso fatto meravigliose scoperte, ha preferito farsi umile servo e divulgatore della scienza e delle lodi altrui*".
Dobbiamo ringraziare Bettini per la conoscenza di questa macchina gnomonica, altrimenti rimasta solo nei manoscritti perduti o nelle esperienze pratiche del padre Grienberger. Lo strumento è abbastanza complesso e necessita di un'analisi testuale dettagliata e quindi di un articolo a parte, qui riassumiamo brevemente le parti essenziali che lo costituiscono.

Facendo riferimento alla figura sottostante:

- **a.a**. sono due stipiti laterali che sono congiunti dall'asse trasverso **g** e dalla tavola semicircolare **b** che sarà perpendicolare al piano del muro quando gli stipiti vi saranno fissati sopra;
- **c.** è il primo cursore che ruota sull'asse **hf** con il suo fulcro **d**, che può essere immobilizzato dalla vite i;
- **n.m.** è il secondo cursore, levigato che entra nella fessura e può ruotarvi dentro, in modo da poter essere distanziato a piacere dal punto **h** e fermato dalla vite **n**;
- **o.n**. è un'appendice mobile nell'asse che si ferma con la vite **p**;
- **V.** è il foro in cui si inserisce il chiodo o asse **T** per appenderci il quadrante sottostante fermato da una vite che nella figura non è disegnata;
- **S.** è il centro del quadrante con il suo "perpendiculo", cioè il filo a piombo;
- **Q**. è lo spessore del quadrante cui è infisso il circolo Equinoziale **ABC** che conviene sia di bronzo e posto ad angolo retto con la superficie del quadrante;
- **AC**. È la linea delle ore 12, o linea meridiana, che giace sulla superficie del lato del quadrante o deve essere equidistante da esso;
- **FG. HD**. Sono due assi o righe di legno, come due alidade, ad angolo retto e mobili per ruotare attorno al centro **E** e fermate per mezzo di due viti poste nella parte inferiore del cerchio equinoziale;
- **FG**. È l'indice orario;
- **HD**. Sostiene il resto delle parti mobili dello strumento;
- **LEM**. È il semicircolo meridiano, il cui diametro **LM** è sempre equidistante dall'Equatore, e il semidiametro **IE** coincide sempre con l'asse del mondo;
- **OPN**. È un altro semicircolo, che si può chiamare orizzonte mobile ed è infisso nell'asse cilindrico **IK**;
- **EHK**. È il fulcro affisso alla regola **DH** e che sostiene sia il semicircolo **LEM** che l'asse **IK**;
- **K.** è la vite che stringe il semicircolo **OPN** e il semicircolo **LEM**;
- **R.** è l'ago magnetico (o bussola) che orienta il quadrante **S** secondo la direzione del circolo Meridiano.



Lo strumento gnomonico inventato da padre Cristoforo Grienberg

L'uso dello strumento, che implica molte operazioni, non sembra abbia una praticità elevata e, a meno che qualcuno lo costruisca e lo verifichi di persona, non sembra possa essere immune di difetti di lettura o approssimazioni. Per avere un'idea di come va usato, facciamo l'esempio riportato dall'autore.
Innanzitutto bisogna "settare" o "stazionare" lo strumento con queste operazioni:

1) Muovere il quadrante **S** fino a quando la sua superficie giace nel piano del Meridiano;

2) Inclinare il quadrante fino a che il filo a piombo segni un angolo pari al complemento della latitudine del luogo. Fatto questo, il circolo equinoziale **ABC** si trova nella sua debita posizione.

3) Se si applica, per esempio, la regola **FG** del cerchio equinoziale, sull'ora 3 astronomica, il semicircolo **LME**, ruotando con essa, va a giacere nel semicircolo dell'ora 3 nella Sfera celeste e se dal secondo semicircolo si estende un filo fino al muro, passante per il centro **I**, si trova sul muro un punto dell'ora 3 astronomica e allo stesso modo si trovano le altre ore.

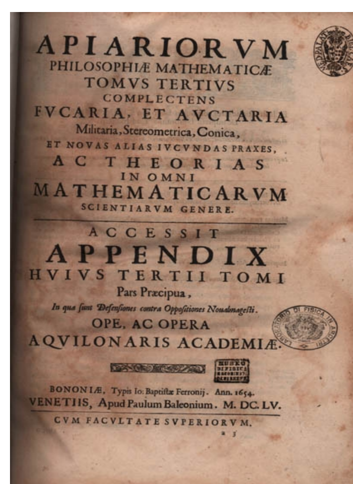
4) Per le ore Italiche e Babiloniche ci si serve del semicircolo **OPN** in questo modo. Per l'ora italica 24 si pone la regola **FG** sull'ora 12 astronomica e sul quadrante **ME**, o **LE** va ruotata fino al grado, per esempio **LO**, complemento della latitudine del luogo, la regola **OIN**. Così, infatti, il semicircolo **OPN** rappresenta l'orizzonte orientale o occidentale. E se si estende dallo stesso semicircolo un filo fino alla superficie del muro, si trova un punto dell'ora 24 babilonica o italica.

Si può pensare, facendo tutte queste operazioni che forse non sarà stato facilissimo riportare con un simile "trabiccolo" tutti i punti orari su un muro, specie se declinante, senza incorrere in piccoli errori di stazionamento dello strumento, di orientamento e di letture approssimate sui cerchi graduati. Gli stipiti laterali vanno fissati al muro. Il cursore principale che ruota intorno al semicircolo orizzontale deve essere orientato per mezzo della bussola che è affetta dalla declinazione magnetica; il cursore va bloccato con la vite in **n** e il quadrante **S** va appeso nel foro **V** e bloccato con la vite **P**, poi bisogna orientarlo in modo che vada a giacere nel piano del meridiano; poi lo si deve alzare di un angolo pari al complemento della latitudine e bloccarlo; quindi si deve ruotare l'alidada del quadrante che gli sta "in groppa" giacente nel piano equinoziale…ruotare il semicircolo soprastante….

Tutto sommato, ci sembra quasi più agevole e preciso il metodo della "Cetra oraria" di Bettini. Ma il tutto sarebbe, come sempre, da verificare e magari un buon artigiano, come ce ne sono tanti anche oggi, potrebbe provare a costruire questa macchina gnomonica e verificarne la precisione.

Apiarorum Philosophiae Mathematicae, Tomo Terzo, Bologna 1544, Venezia, 1655

Tre anni prima della sua scomparsa, Bettini vede pubblicato il terzo volume dell'Apiaria, inteso come un supplemento ai lavori precedenti. La prima edizione fu stampata e pubblicata a Bologna nel 1654, la seconda l'anno successivo a Venezia.
Qui sotto si possono vedere il titolo completo ed il frontespizio.


APIARIORVM
PHILOSOPHIÆ MATHEMATICÆ
TOMVS TERTIVS
COMPLECTENS
FVCARIA, ET AVCTARIA
Militaria, Stereometrica, Conica,
ET NOVAS ALIAS IVCVNDAS PRAXES,
AC THEORIAS
IN OMNI
MATHEMATICARVM
SCIENTIARVM GENERE.

ACCESSIT
APPENDIX
HVIVS TERTII TOMI
Pars Præcipua,
In qua sunt Defensiones contra Oppositiones Nouahmagesti.
OPE. AC OPERA
AQVILONARIS ACADEMIÆ.

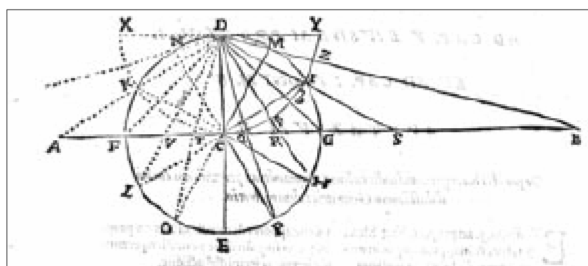
BONONIÆ, Typis Io: Baptistæ Ferronij. Ann. 1654.
VENETIIS, Apud Paulum Baleonium. M. DC. LV.
CVM FACVLTATE SVPERIORVM.

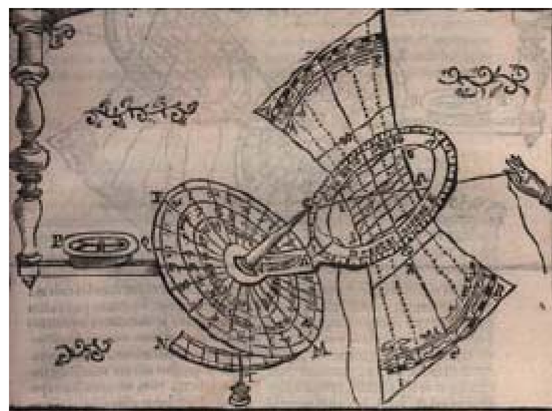




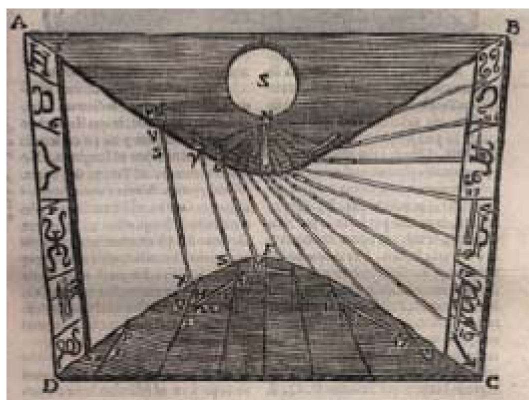
Il terzo tomo dell'Apiaria, *fucaria et auctaria*, cioè abbellita e arricchita, è composta a sua volta di due volumi. Il primo volume contiene 12 apiaria e il secondo che è un'appendice che comprende tutta una serie di "*defensiones contra oppositiones novalmagesti*" da sviluppi di nuove scoperte, commenti, critiche, sviste, errori, ecc. che gli erano evidentemente stati fatti notare da colleghi e lettori.

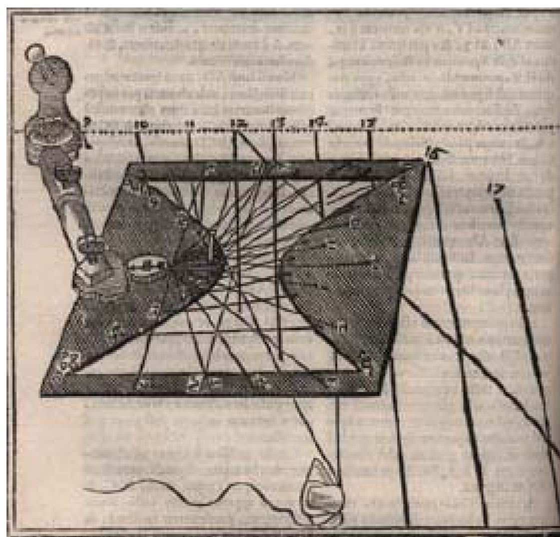
Per quanto riguarda la parte gnomonica, viene più o meno ripetuto ciascun argomento principale, aggiungendo qualche commento, o dimostrazione geometrica prima evitata, come per esempio per la soluzione proposta di trovare i punti orari sulla linea equinoziale con una unica operazione di compasso, come illustrato nella figura sotto a sinistra. Riassume la costruzione e l'uso del Sandalo gnomonico e discute le difficoltà che si possono incontrare nell'usare lo strumento gnomonico per disegnare altri orologi solari, descritto al capitolo IV (figura sotto a destra).





Lo stesso accade con la "Cetra oraria" di cui ripropone le due figure seguenti:





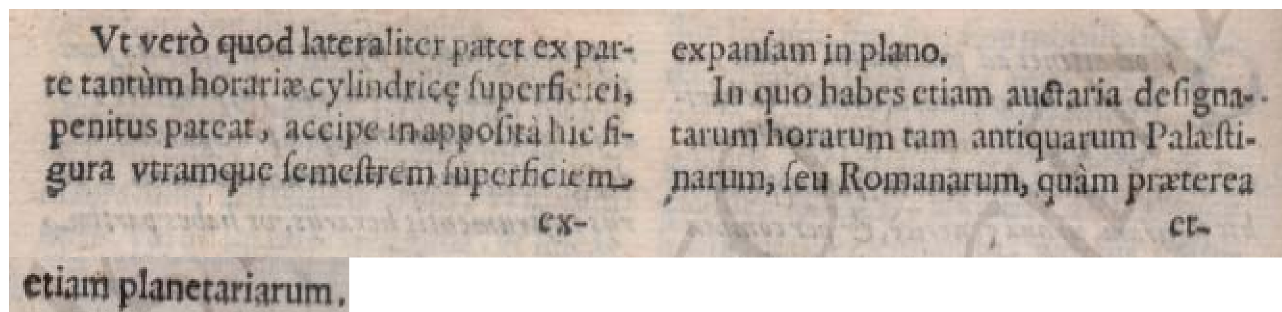
Un cilindro orario misterioso

Come ho scritto a pagina 28 di questo articolo, a cui rimando per le definizioni generali, Bettini discute delle ore Planetarie nell’Apiarum decimo trattando dell’armonia musicale e delle sue misteriose relazioni con l’armonia del cosmo,
Qui, invece, troviamo ciò che per Bettini dovrebbe essere solo un “abbellimento” ed una aggiunta curiosa: un orologio solare cilindrico portatile dotato di ore Temporarie e di ore Planetarie. Siccome nell’Apiarum 10 egli fa una netta distinzione definendo le ore Temporarie antiche e le ore Planetarie (definite secondo quanto scrisse Sacrobosco, anche se non ha menzionato questo autore), in un primo momento ho creduto che egli avesse riportato sul disegno del cilindro orario proprio questi due sistemi orari.

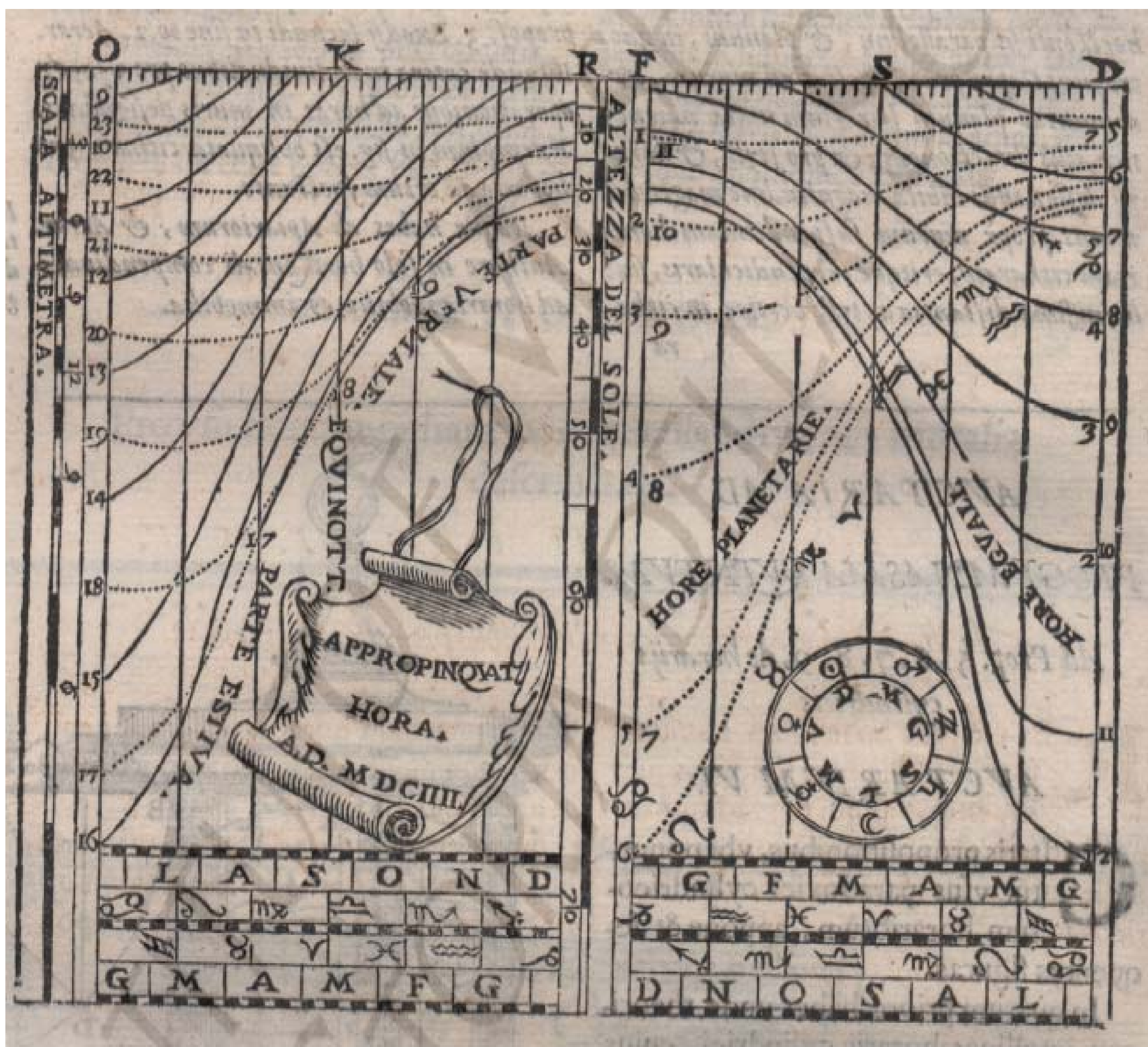
Ho informato immediatamente l’amico Fer de Vries, con cui ho già condiviso gli studi sull’argomento delle ore Planetarie eclittiche nell’autunno del 2008. All’epoca trovai un disegno di orologio orizzontale di Caramuel Lobkowitz, del 1644, in cui era disegnata l’ora Sesta eclittica; poi il disegno di due timpani di astrolabio, uno del 1520 e l’altro di Oronzio Fineo, con le stesse ore. L’occhio analitico di Fer ha subito visto che c’è qualcosa di strano nel disegno del cilindro orario di Bettini. Mentre il mio occhio ha visto e captato la frase latina del testo che accompagna la costruzione di questo cilindro orario in cui egli fa una netta distinzione tra i due sistemi orari, cioè Temporario antico usato dai Romani e Palestinesi, e le Planetarie, evidentemente intese come nella definizione data all’Apiarum 10, cioè come le ore Planetarie ineguali di Sacrobosco, quello di Fer ha constatato che nel disegno del cilindro orario si vedono segnate le ore eguali, numerate come le temporarie e le stesse riportare specularmente ed indicate come ore Planetarie! Ma mettiamo prima in evidenza un’altra cosa.

Bettini ha voluto pubblicare in questo supplemento lo stesso cilindro orario di cui ha trattato nell’edizione precedente, ma con la differenza che qui ha introdotto un abbellimento, una curiosità, come nell’intento del titolo dell’opera. Grazie a queste pagine si può trovare definitiva conferma alle mie supposizioni circa le ore planetarie eclittiche. Come ho ipotizzato nel mio precedente articolo, le ore Planetarie eclittiche di Sacrobosco, non furono mai utilizzate nella gnomonica per la loro davvero poca praticità e complessità dei tracciati orari, ma utilizzate solo come abbellimenti e curiosità, o completamento di considerazioni matematiche. Lobkowitz ne trattò come una “adulterazione” della gnomonica classica. Fineo come una precisazione matematica. Bettini come un puro abbellimento e curiosità ad un orologio classico come il cilindro orario. Ciò che è ormai certo è che non sarà più possibile fare “confusione” tra questi sistemi orari, essendo stati ormai definiti con precisione. Bettini è comunque il primo autore della storia ad evidenziare la differenza tra le ore temporarie o planetarie in uso presso gli antichi, e le ore vere Planetarie Eclittiche che sono contate sull’Eclittica invece che sull’Equatore.

Il suo testo è fin troppo chiaro, anche se in latino, per dare adito a qualche dubbio:


Vt verò quod lateraliter patet ex parte tantùm horariæ cylindricę superficiei, penitus pateat, accipe in appositâ hic figura vtramque semestrem superficiem expansam in plano.
In quo habes etiam auctaria designatarum horarum tam antiquarum Palæstinarum, seu Romanarum, quàm præterea etiam planetariarum.

Le ore Palestinesi o Romane sono le antiche Temporarie suddivise in 12 parti uguali del giorno e notte artificiale. Le Planetarie sono quelle contate sull’Eclittica, come le ha definite nell’Apiarum decimo.

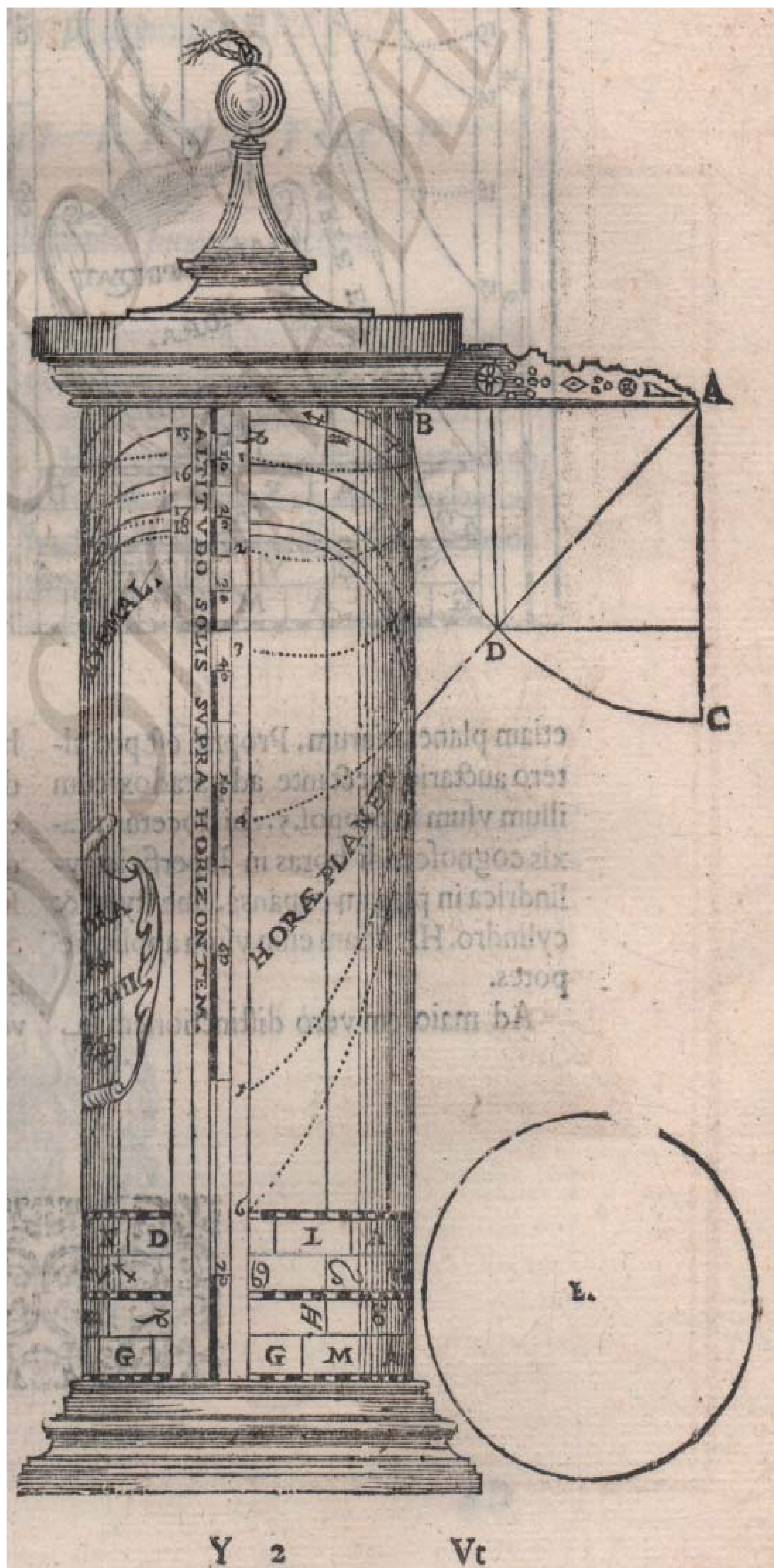


Istituto e Museo di Storia della Scienza di Firenze

Il disegno sopra mostra il progetto dell'orologio cilindrico sviluppato in piano. Innanzitutto è da notare che il cartiglio mostra una scritta: "*Appropinquat Hora A.D. MDCIIII*", che può essere intesa come un motto "Si approssima l'ora", e la data 1604. Inoltre, il resto delle scritte non sono in latino, come tutti i libri di Bettini, ma in italiano. Che vuol dire? Può darsi che Bettini abbia preso in prestito questo disegno da un altro autore, oppure che l'abbia fatto lui stesso e tenuto nel cassetto per 50 anni! Non possiamo saperlo, ma il disegno è inconfutabilmente di un autore italiano! Nel 1604 Bettini aveva solo 22 anni, ma poteva certamente già essere in grado di disegnare questi orologi. Era entrato nella Compagnia di Gesù a 17 anni e a 22 aveva concluso il suo ciclo di studi. Aveva potuto conoscere Cristoforo Clavio il quale aveva da pochissimo completato un suo manoscritto in italiano sugli orologi solari di cui ho scritto in un articolo qualche tempo fa. Oppure il disegno potrebbe essere di Oddi Muzio che pure nel 1614 aveva pubblicato un libro sugli orologi solari in italiano. Ad ogni modo, è abbastanza evidente che questo disegno sia stato aggiunto e non fa parte delle incisioni preparate per questo libro. D'altra parte l'intenzione dell'autore era giusto di riproporre una variante, una novità, un'aggiunta allo stesso argomento e l'ha trovata inserendo in questo disegno le ore planetarie eclittiche. Ma questo è un piccolo mistero perché ad una attenta analisi, le linee orarie punteggiate sono molto simili alle ore Planetarie Eclittiche, ma con qualche piccola differenza. Fer de Vries ha gentilmente analizzato e studiato la questione ed il suo risultato può essere visto in fondo a questo articolo. Che il Bettini si sia confuso nei due sistemi orari è praticamente impossibile. Ciò che penso è che egli abbia voluto inserire queste ore semplicemente per proporre il suo "abbellimento" e la "curiosità" di metterere le ore Planetarie eclittiche su un cilindro orario. Ma come si vede dallo studio di Fer, questo tipo di orologio non

è molto adatto ad ospitare questo tipo di sistema orario. Tuttavia, siamo di fronte ad un'altra rara testimoniznza di queste ore su un orologio solare. Lo strumento è dotato di una scala altimetra e di una piccola "tabella planetaria", semplificata, in forma di circolo nella parte destra in cui sono riportati i simboli dei 7 pianeti e l'iniziale del nome dei giorni in cui essi produrrebbero i loro influssi. In basso è riportato il calendario annuale zodiacale con le lettere dei mesi e i relativi simboli zodiacali.

Istituto e Museo di Storia della Scienza di Firenze



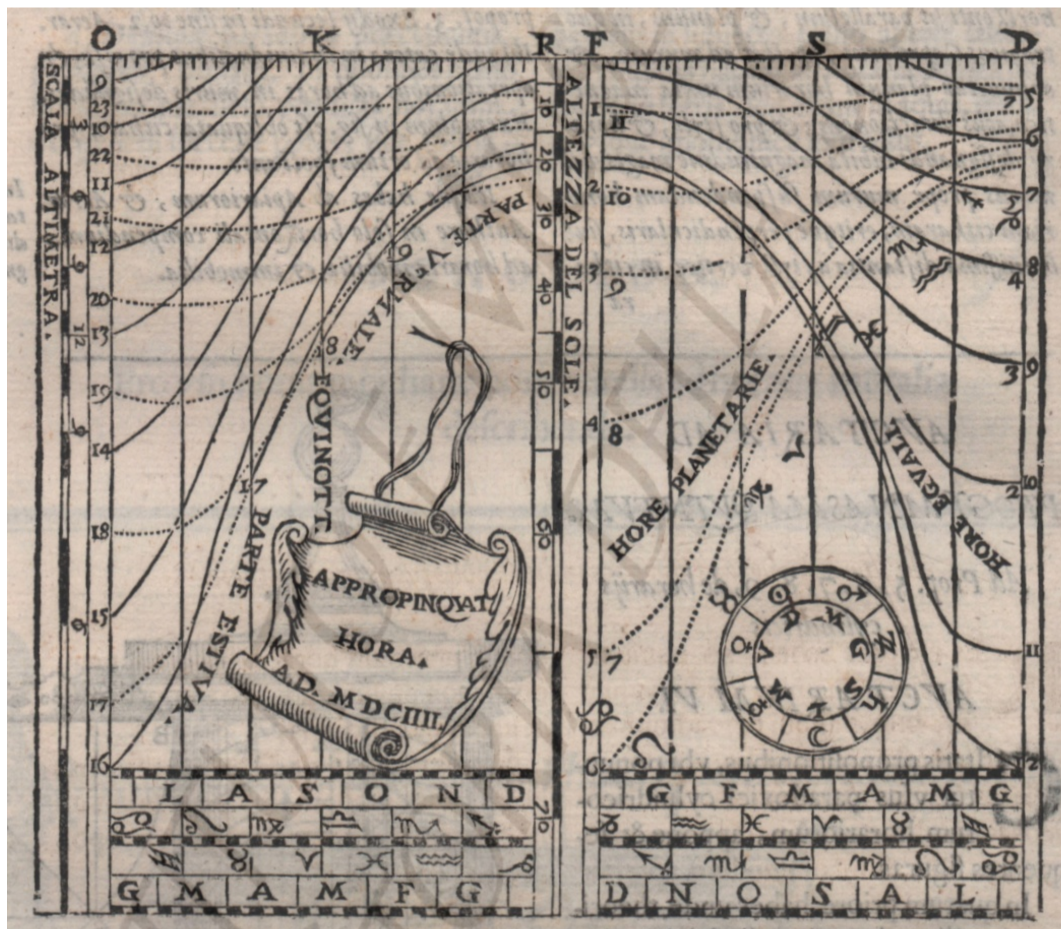
Nella parte sinistra è anche la suddivisione dei periodi stagionali in corrispondenza di dove va a cadere l'ombra dello stilo. Così troviamo la parte invernale in alto, la parte equinoziale al centro e la parte estiva in basso. Sempre a sinistra è riportato il tracciato orario delle ore Italiche. Nella parte destra invece sarebbero riportati i due sistemi orari delle ore Temporarie antiche e delle ore Planetarie eclittiche, mentre il disegno mostra solo le ore Planetarie in modo speculare.

Qui a lato si può vedere il bellissimo disegno dell'orologio cilindrico portatile nella sua interezza e come si presenta nell'uso quotidiano.
Si nota come siano riportati con fedeltà minuti particolari dello gnomone e della testa girevole sulla colonnetta.

Il riporto preciso delle ore Italiche a sinistra, con la loro corretta numerazione e delle ore Planetarie a destra. Il disegno geometrico della teoria dell'ombra versa e retta e il prolungamento del raggio del sole proiettato dal vertice dello gnomone e la scala delle altezze del sole sopra l'orizzonte.

Le ore Planetarie sono riportate in tratteggio, come per indicare che questo sistema orario non è quello principale, essendo considerato solo come una pura curiosità ed ha la doppia numerazione sul lato sinistra; le ore Temporarie sono tracciate con linee a tratto continuo e numerate anch'esse con doppia numerazione da 1 a 12 sul lato destro (visibile nella figura precedente).

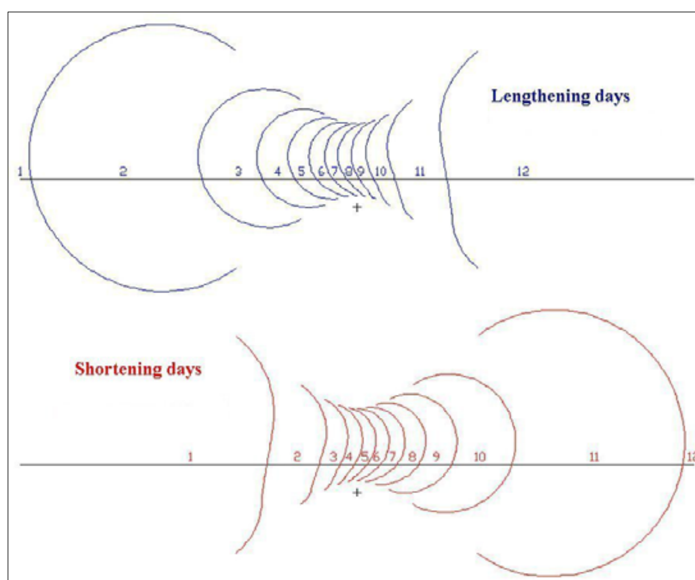
Planetary hours on pillar dial by Bettini. By Fer de Vries



The dotted lines on the right side of the picture are the planetary hours.
Strange is the fact that the dateline for the summer solstice for these lines is at the left side with the sign for Capricornus in the zodiac calendar. So it seems the lines are mirrored.

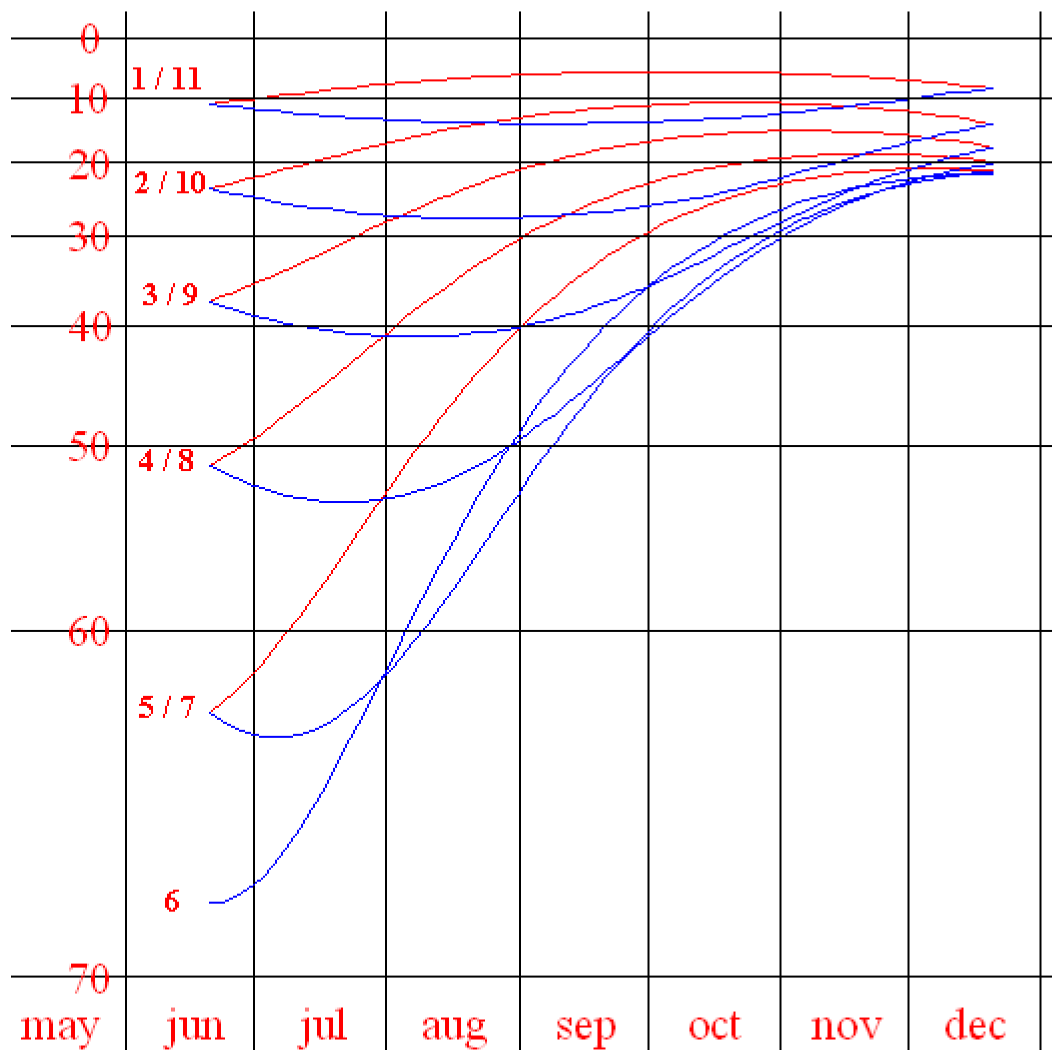
The lines are numbered 1 / 11, 2 / 10 …..6.
These lines can't be the lines as defined by Sacrobosco.
The planetary hours in the Bettini's pillar dial are symmetrical for the morning and afternoon hours but as is seen in this picture of a horizontal sundial the planetary hours as defined by Sacrobosco aren't symmetrical.

Also we see that on the equinoxes the lines on the pillar dial intersect the equal hour lines so this also proofs that the dotted lines aren't for the planetary hours as defined by Sacrobosco.



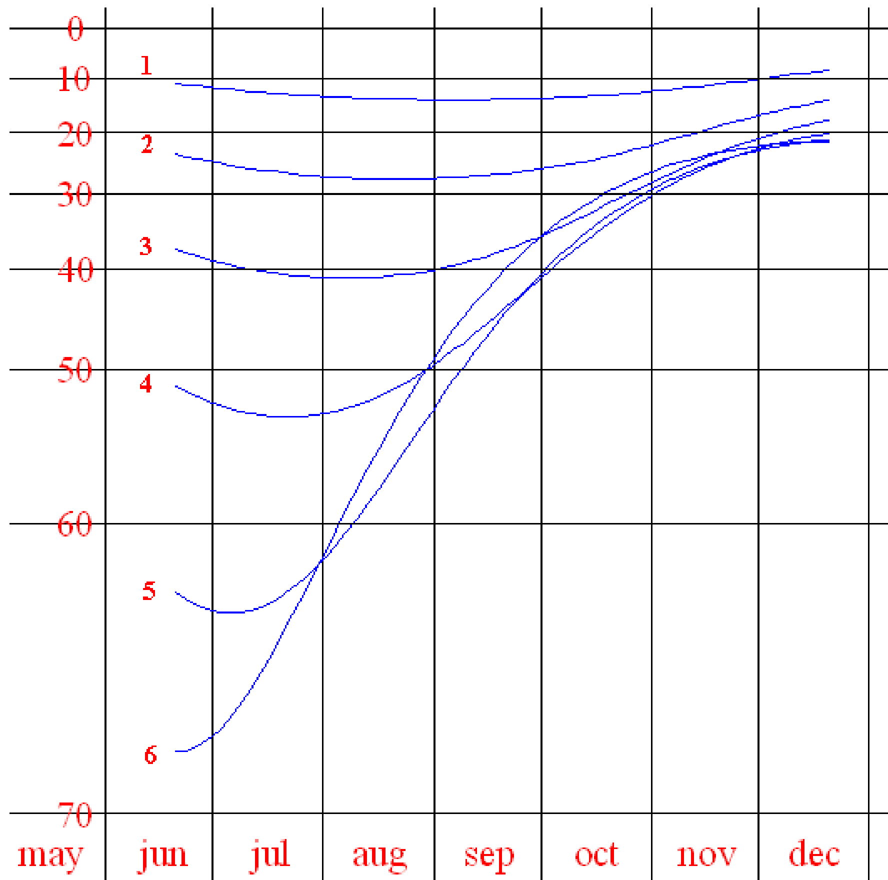
How the lines of the planetary hours, as defined by Sacrobosco, will look on a pillar dial?
In the following story I show this for a pillar dial for latitude of 45° and for the period from 21 june to 21 december. For the other period of the year the same principle is due.

The result for the hours 0 to 12 is as in the next figure.
At left is an altitude scale in degrees.

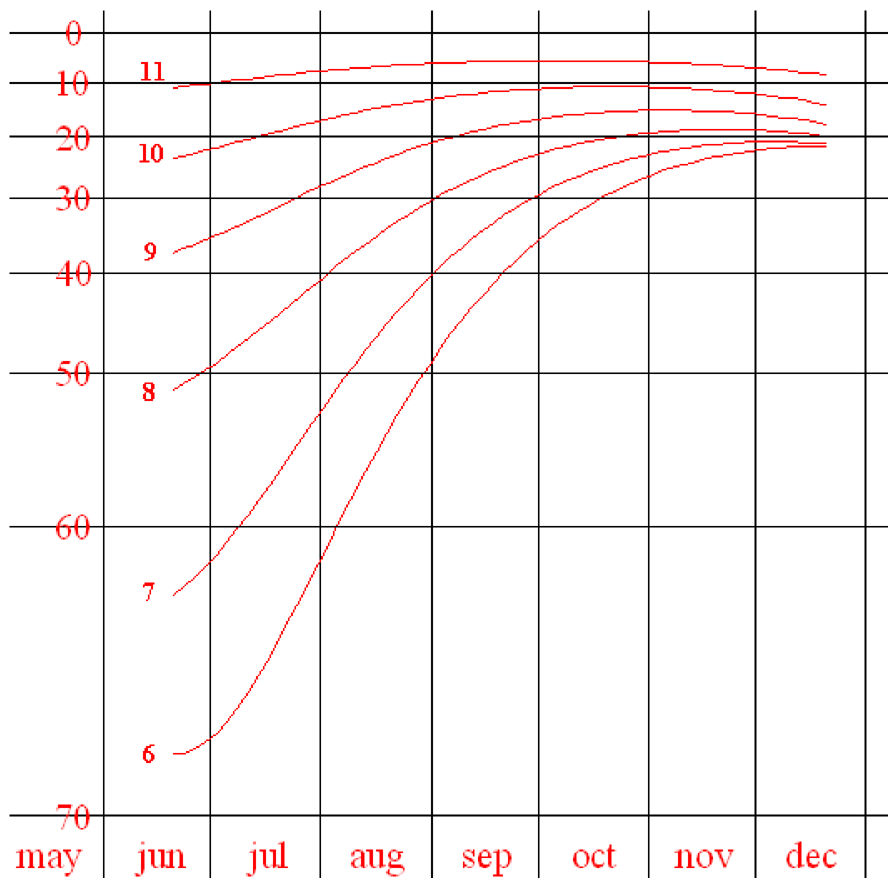


Surprising is the crossing of the blue lines. I will explain later that this is right.

On the next page I have split this drawing in the morning hours 0 to 6 and the afternoon hours 6 to 12.
This makes it easier to see how the lines run.



Morning hours 0 - 6



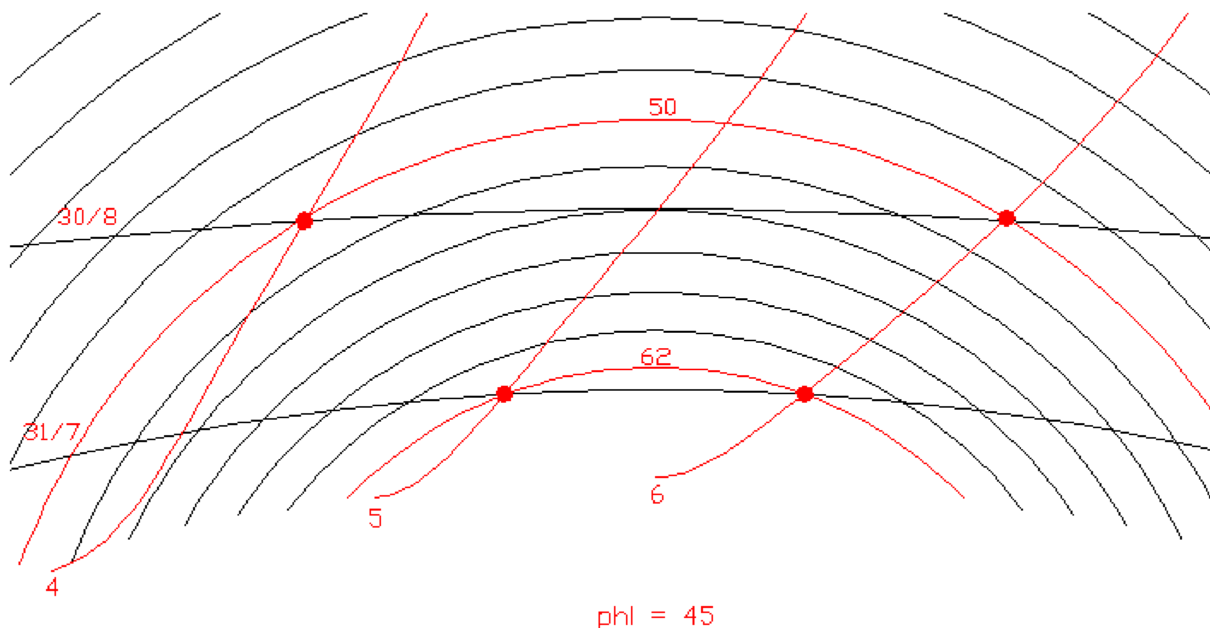
Afternoon hours 6 - 12

About the crossing hour lines I did the following.
As may be seen at the picture on top of the previous page the lines 5 and 6 cross at about 31 july with a sun's altitude of about 62º degrees.
And the hour lines 4 and 6 cross at about 30 august with a sun's altitude of about 50º.

I calculated for a latitude of 45º a horizontal dial with the planetary hours 4, 5 and 6 together with datelines for 31 july and 30 august and a series of altitude lines in step of 2º.

With red dots I accented the crossing point according what I read on the pillar dial and the results are the same.

All is seen in the next picture of a detail of this horizontal dial.



By this all I conclude that on the pillar dial by Bettini we don't see the planetary hours as defined by Sacrobosco.
On the other hand it gives us insight how these lines should be.
And it is obvious that a pillar dial is not very suitable for these plaetary hours.

Fer de Vries

19 november 2009.

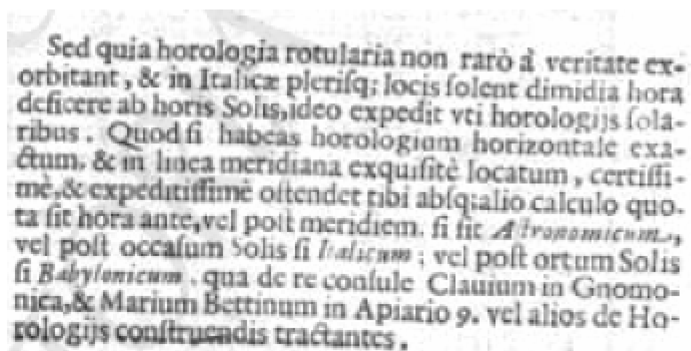
Conclusioni

Siamo arrivati alla fine di questo nostro lungo viaggio alla scoperta del contributo gnomonico di Mario Bettini, leggendo, scoprendo e meravigliandomi scrivendo questo articolo. Sinceramente non mi aspettavo tutte queste cose interessanti ed importanti per la storia della gnomonica, così sono felice di riassumere in conclusione i punti fondamentali dell'opera dell'ennesimo padre gesuita, misconosciuto, che ha dato il suo grande contributo a questa disciplina.

Bettini è figlio della cultura scientifica di Clavio ed è ammiratore e collega del grande Kircher con cui avrà certamente discusso e condiviso molte delle sue esperienze matematiche, fisiche e gnomoniche. Anche dai suoi studi nasceranno monumenti come quello di Emanuele Maignan ed opere come l'anamorfosi che questi eseguì nel convento di Trinità dei Monti a Roma. Abbiamo accennato ad alcuni strumenti di geodesia, studiati e condivisi con Grienberger, ma abbiamo tralasciato tutto ciò che non riguarda la gnomonica e che pure, sicuramente, avrà delle pagine interessanti sotto tanti altri aspetti. Riassumendo:

1) Un nuovo modo geometrico di trovare i punti delle linee orarie astronomiche sulla linea equinoziale con una unica operazione di compasso;
2) Un nuovo metodo geometrico per descrivere le curve di declinazione diurna su un orologio polare;
3) Un nuovo strumento gnomonico basato su un orologio polare per descrivere orologi solari;
4) Bettini scrive sugli asintoti due decenni prima delle date ufficiali riferite nelle enciclopedie;
5) Uno strumento universale per descrivere orologi solari;
6) Il metodo geometrico per trovare i punti delle linee orarie Italiche sulla linea orizzontale, descritto forse per la prima volta da Bettini;
7) Il modo di ricavare l'ora dagli orologi solari d'altezza disegnati in piano, per mezzo di un righello;
8) La Mira Horaria;
9) La definizione di ore planetarie di Sacrobosco e la distinzione dalle ore temporarie;
10) Il sandalo gnomonico universale;
11) La "Cetra oraria", come strumento gnomonico per costruire orologi solari murali;
12) L'Arco gnomonico, uno strumento gnomonico sconosciuto di Grienberger;
13) Il Cilindro orario con le ore Planetarie eclittiche.

Nota sulla citazione di Giovam Battista Riccioli


Sed quia horologia rotularia non rarò à veritate exorbitant, & in Italicæ plerisq; locis solent dimidia hora deficere ab horis Solis, ideo expedit uti horologijs solaribus. Quod si habeas horologium horizontale exactum, & in linea meridiana exquisitè locatum, certissimè, & expeditissimè ostendet tibi absq; alio calculo quota sit hora ante, vel post meridiem, si sit *Astronomicum*, vel post occasum Solis si *Italicum*; vel post ortum Solis si *Babylonicum*, qua de re consule Clauium in Gnomonica, & Marium Bettinum in Apiario 9. vel alios de Horologijs construendis tractantes.

Giovanni Battista Riccioli, nel suo libro *Geographicae crucis fabrica et usus ad repraesentandam mira facilitate omnem dierum noctiumque ortuum solis et occasum*, Bologna, 1643, scrive a pagina 6 sul modo di convertire i quattro sistemi orari principali, Astronomico, Europeo (germanico ad iniziare da mezzogiorno), Italico e Babilonico con lo strumento da lui inventato e denominato "Croce Geografica". Egli cita la *Gnomonices* di Cristoforo Clavio e l'*Apiarum* 9 di Mario Bettini, quali libri principali sull'argomento, oltre ad altri autori che ne hanno discusso, affiancando il Bettini al grande Clavio! Probabilemnte egli si riferisce allo strumento tipo "volvella" formato da più dischi con questi sistemi orari e ruotanti sullo stesso centro. Nello stesso passo, Riccioli credo offra una preziosa testimonianza dell'uso "in alcuni luoghi d'Italia", di anticipare di mezzora l'ora solare sugli orologi solari (*dimidia hora deficere ab horis Solis*). Sono le ore che oggi denominiamo "Italiche da campanile".

Novembre 2009
Nicola Severino per www.nicolaseverino.it

Post Scriptum

Quando l'articolo era ormai completato, ho ricevuto un nuovo messaggio da parte di Fer de Vries con cui mi comunicava un disegno di progetto per un orologio solare cilindrico verticale con le ore antiche temporarie. Inoltre, egli ha trovato una pagina da un libro di George Brentel in cui si vede un progetto di tale orologio con le ore Planetarie praticamente identico a quello proposto da Bettini.

Ultime considerazioni sul cilindro orario di Bettini

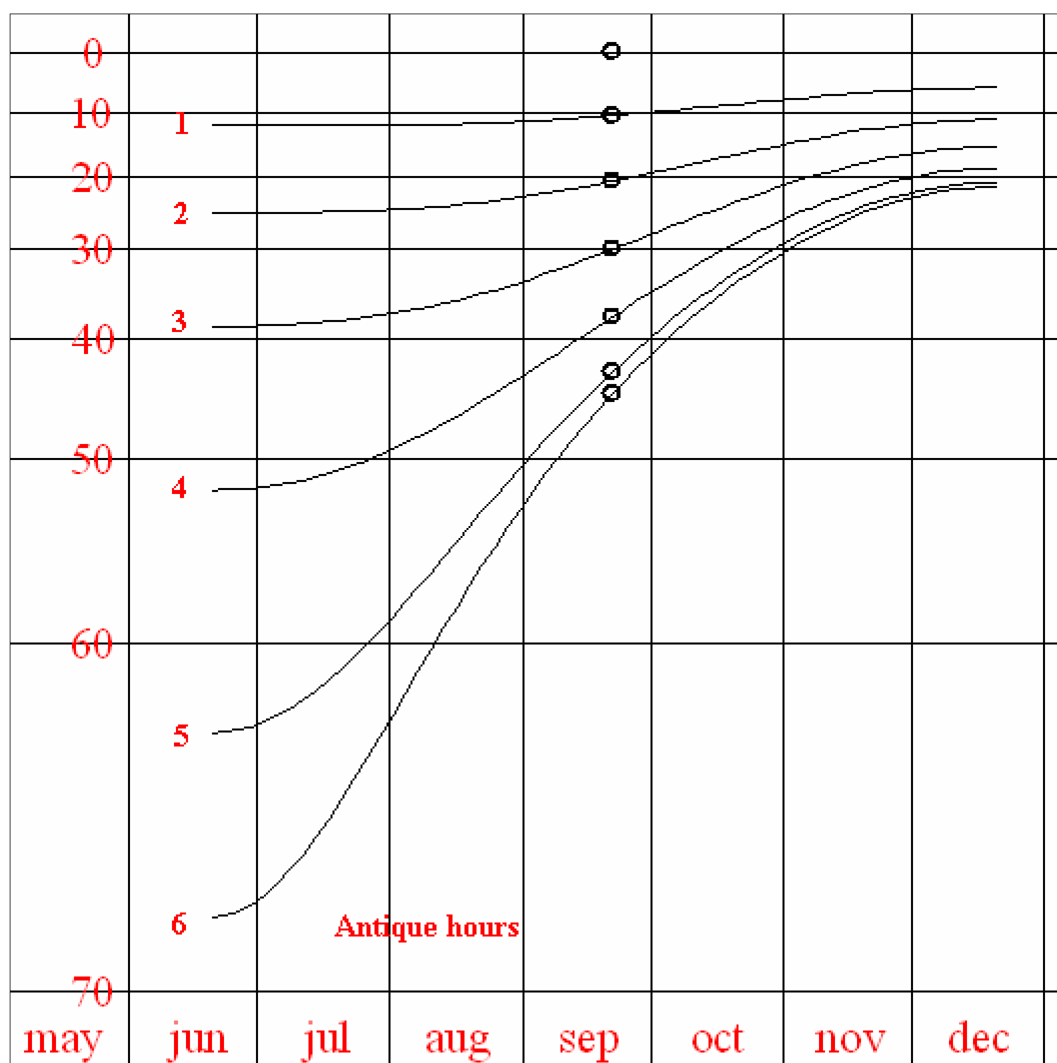
Alla luce di quest'ultimo passo, possiamo trarre una conclusione abbastanza plausibile su ciò che ci ha proposto Mario Bettini relativamente a questa specifica pagina del suo libro. Evidenziamo ancora una volta che egli ha inteso pubblicare, con questo terzo volume dell'Apiaria, una sorta di supplemento alle edizioni passate aggiungendo considerazioni, commenti, ampliamenti, ma soprattutto abbellimenti e curiosità relativi agli argomenti già trattati.

Per quanto riguarda il cilindro orario, abbiamo visto che nell'Apiaria 9 egli aveva proposto il modo di conoscere l'ora sui quadranti d'altezza, e nel cilindro orario, "senza stilo, senza colonnetta…", ecc., grazie all'uso di una riga e di una tabella delle altezze del Sole. In questo terzo volume quindi egli doveva apportare un abbellimento o una curiosità a quanto aveva già scritto e, non potendone trovare altre, ha pensato come cosa curiosa di introdurre nel cilindro orario le ore Planetarie. Egli non specifica che si tratta delle ore Planetarie come definite da Sacrobosco (come ha riportato diligentemente nel X dell'Apiaria), ma che per abbellimento vengono descritte su tale orologio sia le ore Palestinesi, o Romane che quelle Planetarie. Ma le ore Planetarie normali sono uguali alle ore Temporarie normali, o "palestinesi e Romane" come lui le chiama: quindi dove sarebbe la differenza? La risposta più plausibile è che egli intendeva in questo caso non le ore Planetarie di Sacrobosco, ma quelle normalmente utilizzate nella gnomonica classica, cioè le ore Temporarie in cui sono riportati anche gli influssi dei pianeti nelle singole ore per mezzo di una Tavola Planetaria. Siamo così di fronte di nuovo alla solita confusione! Ma stavolta si può fare chiarezza, perché nel caso del cilindro orario, abbiamo potuto constatare, grazie ai disegni di Fer de Vries, che – mentre negli orologi solari orizzontali le ore Planetarie Eclittiche di Sacrobosco e quelle Temporarie normali hanno un andamento molto diverso tra loro, qui la differenza grafica è davvero minima che però ci ha tratto in inganno. Quando Fer ha calcolato le ore temporarie normali sul cilindro orario, si è vista la piccola differenza e la perfetta uguaglianza del grafico orario di Bettini.

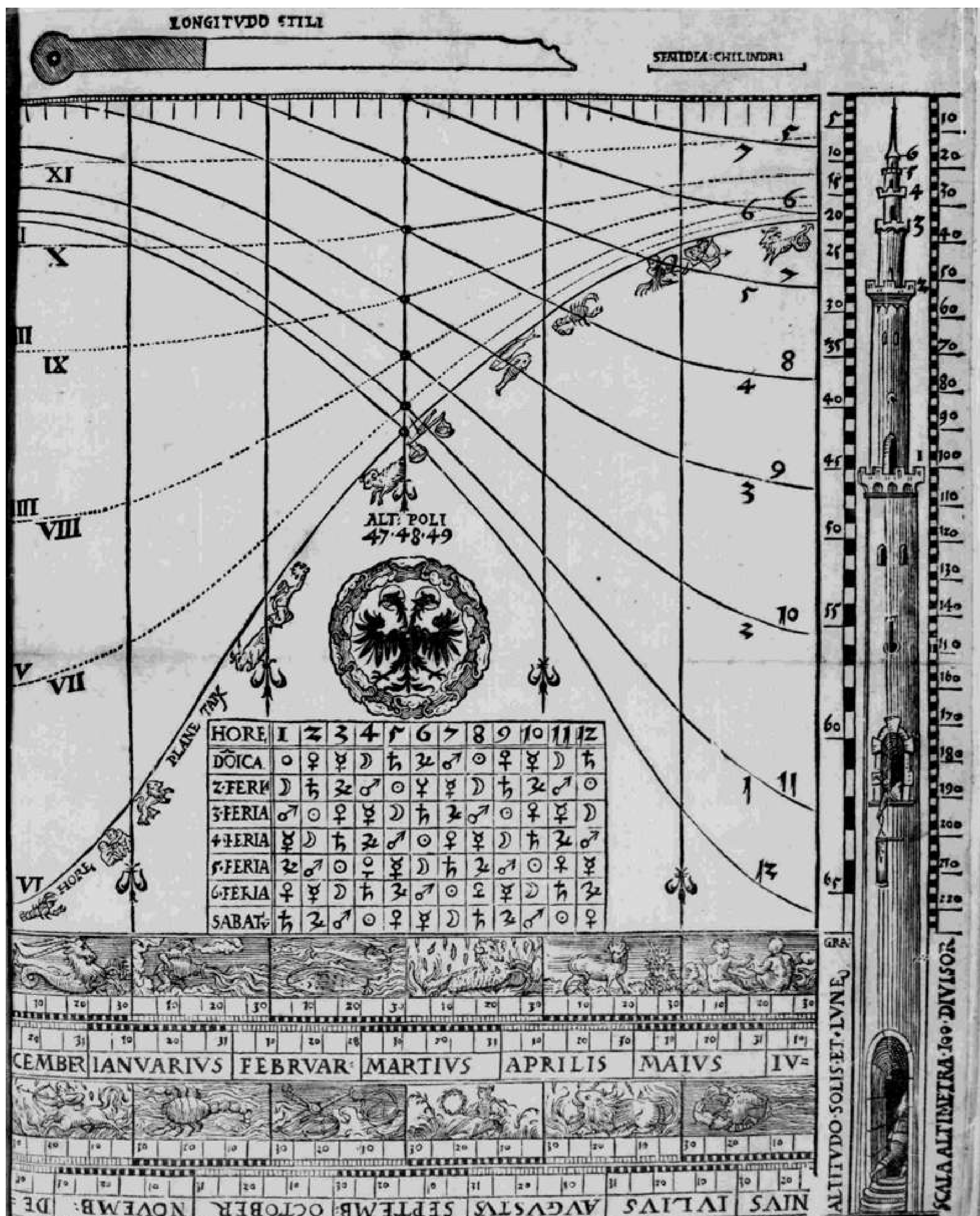
In definitiva, Bettini ha accennato ai due sistemi orari, Palestinese o Romano (ovvero Temporario antico) e Planetarie, come fossero due sistemi orari ben distinti; noi siamo caduti in inganno pensando che si riferisse alle ore Planetarie di Sacrobosco come le aveva definite in precedenza, mentre in realtà esse non sono altro che le ore Planetarie normali.

Non possiamo pensare che Bettini volesse riferirsi davvero ai due sistemi orari Temporario normale e Planetario di Sacrobosco, perché altrimenti dovremmo dire che non aveva mai visto un tracciato orario delle ore Planetarie Eclittiche e quindi le avrebbe confuse con quelle Planetarie normali sul cilindro orario.

Nelle immagini che seguono si vede bene sia la piccola differenza tra le ore Planetarie Eclittiche e le ore antiche Temporarie normali. Anche George Brentel le aveva disegnate nelle sue opere e, in particolare, in un suo libro stupendo specifico sull'orologio cilindrico e i tracciati orari in entrambi i casi sono identici a quello proposto da Mario Bettini.
Con questo si può considerare concluso l'argomento.

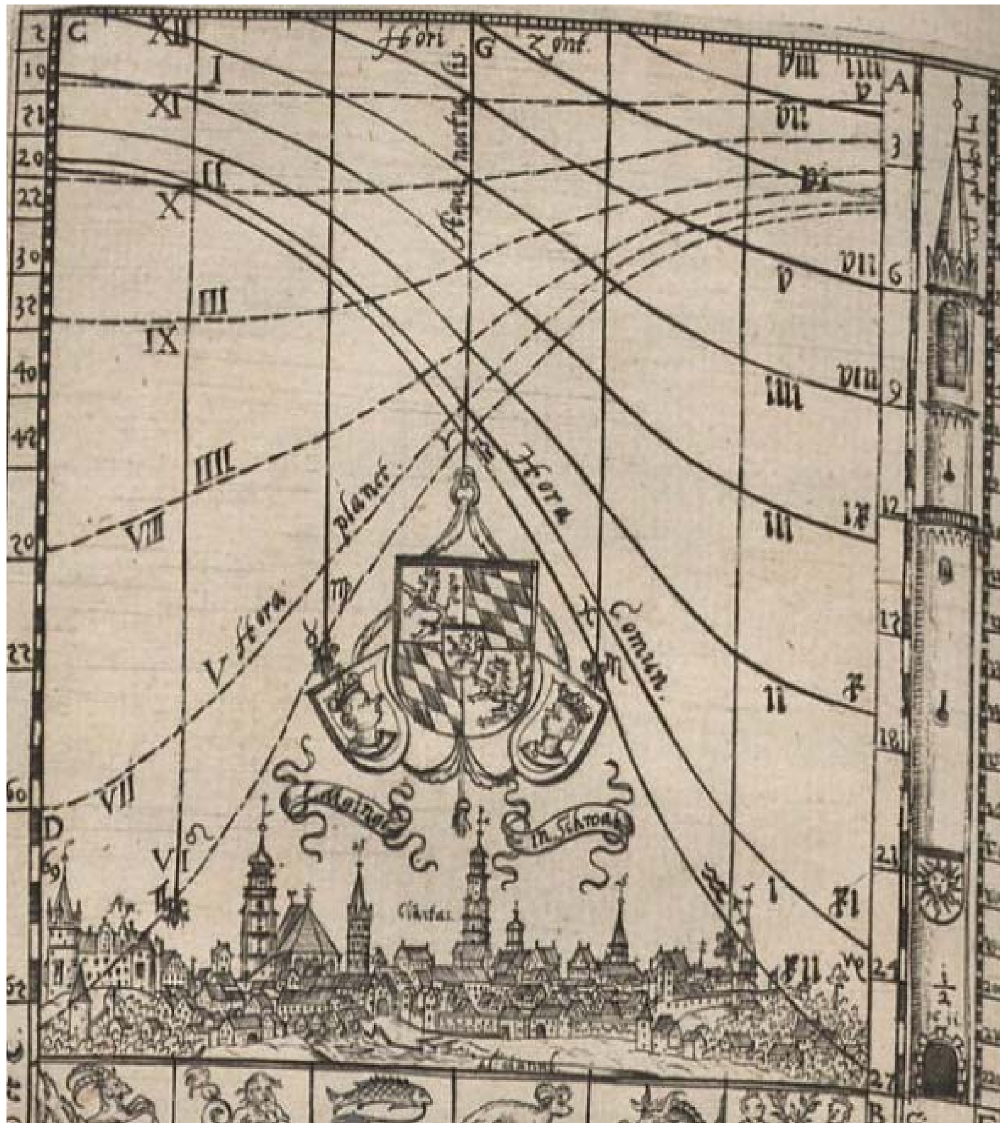


Disegno di Fer de Vries delle ore Temporarie antiche sul cilindro orario



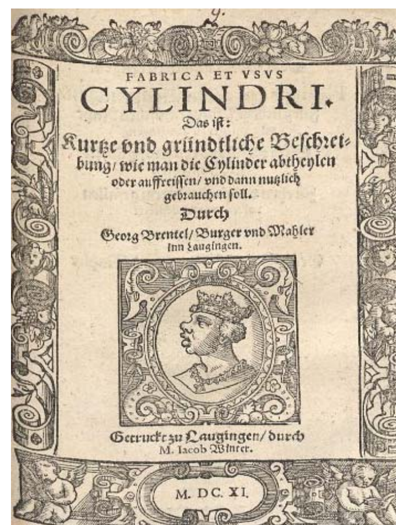
HORE	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
DÕICA	☉	♀	☿	☽	♄	♃	♂	☉	♀	☿	☽	♄
2·FERIA	☽	♄	♃	♂	☉	♀	☿	☽	♄	♃	♂	☉
3·FERIA	♂	☉	♀	☿	☽	♄	♃	♂	☉	♀	☿	☽
4·FERIA	☿	☽	♄	♃	♂	☉	♀	☿	☽	♄	♃	♂
5·FERIA	♃	♂	☉	♀	☿	☽	♄	♃	♂	☉	♀	☿
6·FERIA	♀	☿	☽	♄	♃	♂	☉	♀	☿	☽	♄	♃
SABATo	♄	♃	♂	☉	♀	☿	☽	♄	♃	♂	☉	♀

Prima immagine trovata da Fer de Vries del cilindro orario con le ore Temporarie normali e le ore Planetarie normali (linee punteggiate). Si vede anche la Tavola Planetaria. Disegno splendidamente decorato da Brentel, come sua consuetudine.



Un'altra immagine di Brente trovata da chi scrive, in cui si vedono gli stessi tracciati orari, identici a quelli di Bettini.

Qui sotto, i frontespizio del libro sul cilindro orario di Gorge Brentel, 1611.



FABRICA ET VSVS
CYLINDRI.
Das ist:
Kurtze vnd gründtliche Beschreibung/ wie man die Cylinder abtheylen oder auffreissen/ vnd dann nutzlich gebrauchen soll.
Durch
Georg Brentel/ Burger vnd Mahler inn Laugingen.

Getruckt zu Laugingen/ durch M. Iacob Winter.

M. DC. XI.

LA GNOMONICA DI MARIO BETTINI SU YOU TUBE

Nicola Severino ha realizzato un video formato da due parti sulla gnomonica di Mario Bettini. Insieme ad altri video sulla gnomonica, possono essere visualizzati sul noto portale di You Tube, scrivendo nella stringa di ricerca la parola "Gnomonica". Verranno visualizzati molti dei video gnomonici pubblicati dall'autore ed anche questi ultimi. Per una più veloce visualizzazione, ecco i link dei video su Mario Bettini:

Video 1



http://www.youtube.com/watch?v=RsdfZxcE85Y

Video 2



http://www.youtube.com/watch?v=6G0sbyvHKbY

www.nicolaseverino.it – november 2009